

ACTA UNIVERSITATIS SZEGEDIENSIS

PARS CLIMATOLOGICA SCIENCIARUM NATURALIUM

CURAT: I. BÁRÁNY-KEVEI

ACTA CLIMATOLOGICA

TOMUS XXXI/B

URBAN CLIMATE SPECIAL ISSUE

UNGER JÁNOS

VÁROSKLIMATOLÓGIA - SZEGED VÁROSKLÍMÁJA

SZEGED (HUNGARIA)

1997

ajánlott

Szerkesztő:

DR. KEVEINÉ DR. BÁRÁNY ILONA
tanszékvezető egyetemi docens
JATE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6701 Szeged, Pf. 653.

Technikai szerkesztő:

DR. UNGER JÁNOS egyetemi adjunktus
JATE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Lektorálta:

DR. PROBÁLD FERENC
egyetemi tanár
ELTE Regionális Földrajzi Tanszék

DR. KEVEINÉ DR. BÁRÁNY ILONA
tanszékvezető egyetemi docens
JATE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék

Kiadó: József Attila Tudományegyetem, Természettudományi Kar,
Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem utca 2.

A kiadvány "*A környezettan szakos tanárképzés korszerűsítése*" és "*A városi levegő-környezetváltozás vizsgálata - a geográfus szakos képzés korszerűsítése*" című felsőoktatási fejlesztési projektek és a "*Városklimatológia és városökológia Szegeden*" című OTKA program (T/23042) keretében készült.

ISSN 0563-0614

Tartalom

Előszó	2
1. Bevezetés	3
1.1. Az urbanizáció időbeli folyamata	3
1.2. A városklíma térbeli lehatárolása	8
2. A város éghajlatmódosító hatása	10
2.1. A városklíma kialakulásának okai	10
2.2. A városi légkör összetétele	11
2.3. Az energia- és vízegyenleg változásai természetes felszínen és városi területeken	15
2.4. A klímaparaméterek módosulásai	20
2.5. Az általános klímajellemzők	22
3. Kutatástörténet	26
3.1. A városklímakutatás rövid története	26
3.2. A hazai városklímakutatás vázlatos áttekintése	27
3.3. A városklímakutatás néhány módszere	28
4. A szegedi régió földrajzi és éghajlati adottságai	29
4.1. Földrajzi fekvés	29
4.2. Éghajlati jellemzők	29
5. Szeged városklímája	33
5.1. A szegedi városklímakutatás korábbi eredményei	33
5.2. A városi hőtöbblet évszakos rendszere derült, advekcíómentes napokon	39
5.3. A városi hőmérsékleti többlet napi és évi járása	43
5.4. Az eltérő meteorológiai feltételek hatása a városi hősziget intenzitásának nagyságára	48
5.5. A város hőmérsékletemelő hatására utaló egyéb mutatók	54
5.6. A párányomás városi többletének napi és évi járása	58
5.7. A város hatása a humán komfortérzetre	61
5.8. A további kutatási irányok	66
Irodalom	67

Előszó

A tanulmány két szerkezeti egységre tagolódik. Az első rész az urbanizációval és a hatására kialakuló lokális vagy gyakran mezoméretű éghajlati jelenséggel - a városklímával - foglalkozik, a második rész pedig egy közepes méretű magyar nagyváros (Szeged) városklímájának jellemzőit mutatja be.

A városok, települések klímamódosító hatásának jelentősége - az egész Föld felszínét érintő éghajlati folyamatokhoz képesti csekély térbeli kiterjedése miatt - elhanyagolhatónak tűnhet. Hogy ez mégsem így van, azzal függ össze, hogy a városok - az egész légkör kiterjedéséhez képest - viszonylag csekély légtérfogatán belül él és dolgozik az emberiség több mint fele. Ez az arány az idő haladtával egyre nagyobb mértékben fokozódik. A magyar szakirodalom ezzel a fontos kérdéssel általánosságban *Probáld* (1981) kivételével még nem foglalkozott kellő mélységben.

Az általános áttekintés mellett a dolgozat Szeged lokális klímamódosulásának sajátosságait elemzi, a különböző városklímátikus paramétereknek a természetes háttérkörnyezet megfelelő paramétereivel való összevetésével. A több aspektusú kiértékelésben a fő hangsúly elsősorban a város hőmérsékletemelő hatására, okaira és annak következményeire helyeződik, de érintjük a légnedvesség módosulásának és az emberi szempontból különösen fontos bioklimatológiai vonatkozásoknak a problémáit is.

A tanulmány elsősorban olyan szakembereknek ajánlható, akik klimatológiával, meteorológiával, városfejlesztéssel és rendezéssel, vagy az ehhez kapcsolódó társtudományokkal foglalkoznak, de haszonnal forgathatják azok az egyetemi és főiskolai hallgatók is, akik az átlagosnál mélyebb érdeklődést mutatnak a különböző lokális éghajlati jelenségek iránt.

Köszönetemet fejezem ki azoknak a szakembereknek, akik e munka elkészültéhez hozzájárultak: *Dr. Probáld Ferenc* (ELTE), *Dr. Tar Károly* (KLTE), *Dr. Koppány György* (JATE) egyetemi tanárok, *Dr. Keveiné Dr. Bárány Ilona* (JATE) egyetemi docens, *Prof. Timothy R. Oke* (University of British Columbia, Vancouver) és *Dr. William W. Kyle* (University of Hong Kong) értékes szakmai tanácsaikkal és javaslataikkal, *Csikász Lajos* a számítógépes grafikák részbeni elkészítésével segítettek.

a szerző

Szeged. 1997. december

1. Bevezetés

1.1. Az urbanizáció időbeli folyamata

Az emberiség eddigi történetét áttekintve a kb. 10 000 évvel ezelőtti időktől, vagyis a kezdeti letelepedések korától találkozunk a városok, közöttük a nagyvárosok említésével. Az i.e. 3-4. évezredből egész sor városról van tudomásunk, ugyanis a folyami kultúrák kialakulása (Mezopotámiában, Egyiptomban, az Indus és a Sárga-folyó völgyében) elősegítette a városok létrejöttét (1.1. táblázat).

1.1. táblázat A legrégebbi városok

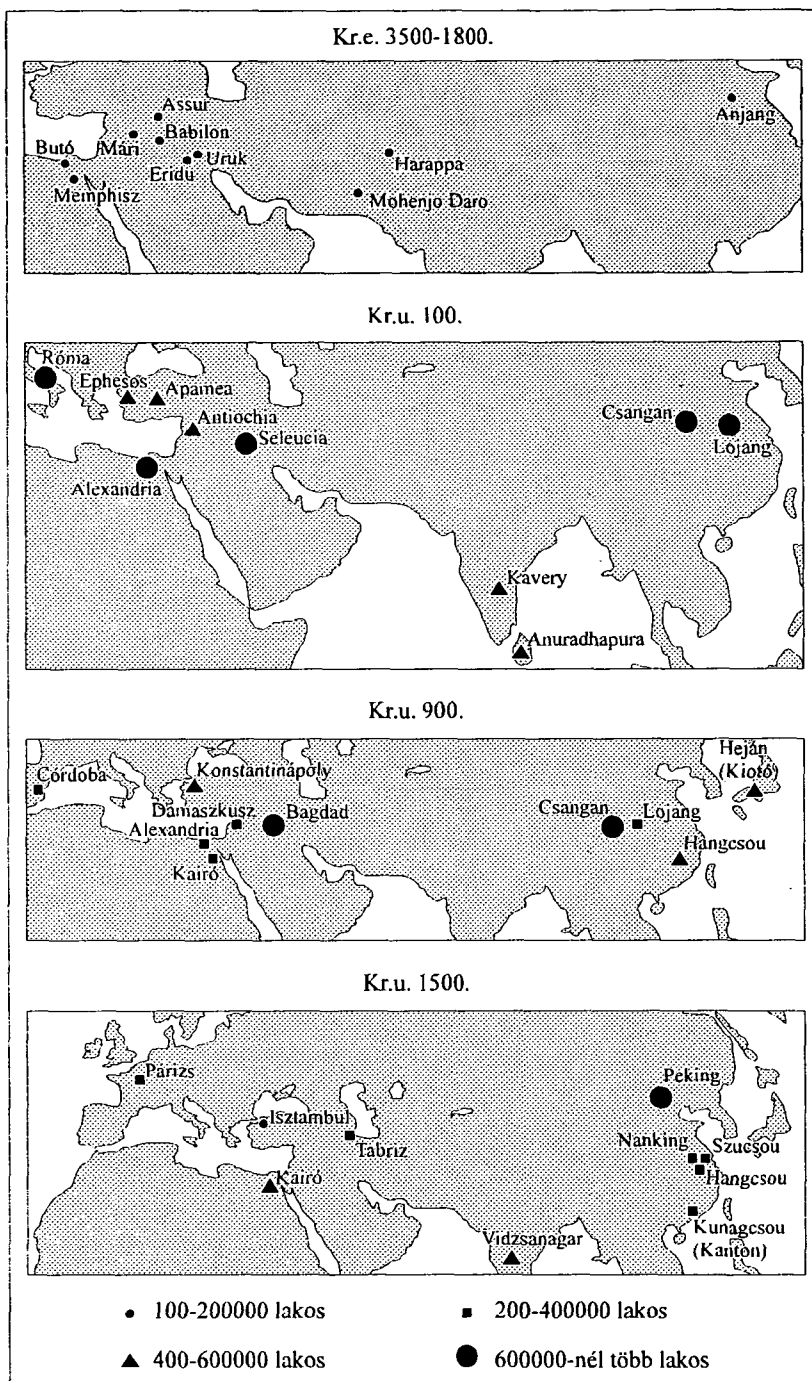
Város	Akkori ország	Mai ország	Keletkezése kb.
Jerikó	Kánaán	Palesztina-Izrael	i.e. 5000
Ur	Mezopotámia	Irak	i.e. 5. évezred
Susa	Elám	Irán	i.e. 4000
Hierakonpolis	Egyiptom	Egyiptom	i.e. 4000
Nippur	Mezopotámia	Irak	i.e. 4. évezred eleje
Trója		Törökország	i.e. 4. évezred
Mohendzso-dáro		Pakisztán	i.e. 3000
Memphis	Egyiptom	Egyiptom	i.e. 2850
Anjang		Kína	i.e. 2000

Az i.e. 1. évezredben számos többszázeges település (1.1. ábra) közül kiemelkedik Babilon 3-400 ezres lakosságával és közel 300 km²-es területével. Különleges jelentőségre kiterjedése miatt tett szert, mert ekkora nagyságú, körfalazott település soha többé nem jött létre a történelem során. Néhány száz évvel később Karthagó és az egyiptomi Théba (6-800 000 fő) számított nagyvárosnak. A Római Birodalom fénykorában több mint egymillió ember áramlott a nyugati fővárosba, Rómába, míg a keletibe - Bizáncba - kb. 7-800 ezer. A római korban a lakosság 10%-a élt a 30 db 100 000-nél nagyobb városban (7 millió ember). Ebben a korszakban csupán a kínai Han-birodalom városai vetekedhettek Rómával. Nagy valószínűséggel ez az időszak tekinthető a városiasodás első csúcspontjának.

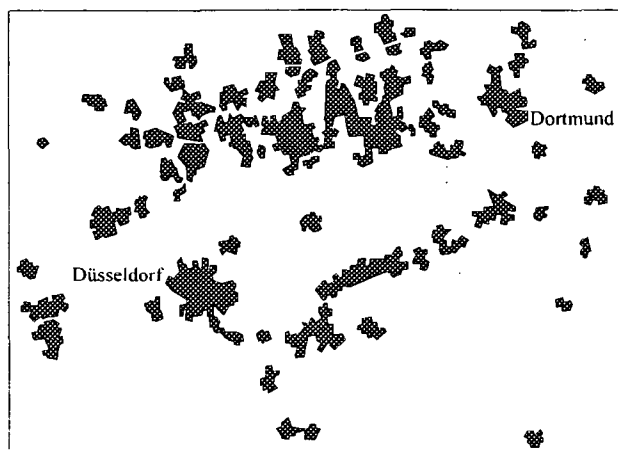
A következő fellendülés az arab birodalom idején, a 10. században volt. A hatalmas birodalom területén 4,4 millió ember élt 22 nagyvárosban, amelyek közül Bagdad lakosság-száma megközelítette az 1 milliót (1.1. ábra). A kínai birodalom területén szintén az arabokéval azonos nagyságú városok találhatók. A középkor vége felé, a 16. században már az ázsiai fölény volt a jellemző: a világ 10 legnagyobb lélekszámú városa közül 5 Kínában volt.

Az európai városok nagyvárosokká fejlődése az ipari forradalom korában, a 17-18. században kezdődött. A 20. század első felében az amerikai városok fejlődése volt szembe-tűnő. Napjainkban különböző agglomerációk kialakulása figyelhető meg szerte a világban (1.2. ábra). A legerőteljesebb urbanizáció - amely csak részben az iparosodás, inkább a robbanásszerű népességszaporulat egyenes következményeként - a harmadik világban jelentkezik (Mexikóváros, Sao Paulo, Calcutta, Kairó). Napjainkban például Mexikóváros lakossága meghaladja a 20 millió főt.

Az utóbbi néhány évszázadban a nagyvárosok számának növekedési tendenciáját és a világ legnagyobb városait az 1.2. az 1.3. táblázatok illusztrálják.



1.1. ábra A városok kialakulása és fejlődése (Chandler and Fox, 1974)



1.2. ábra A Ruhr-vidék agglomerációja

Érdekes azt is nyomon követni, hogy a történelem különböző korszakaiban mely városok voltak - a lakosságuk szerint - a világon a legnagyobbak (1.4. táblázat).

1.2. táblázat A nagyvárosok (>100 000 lakos) száma kontinensenként (Kratzer, 1956)

Kontinens	1700	1800	1850	1900	1932	1951
Európa	10	23	48	147	245	348
Ázsia	30	40	55	91	172	291
Afrika	1	1	2	7	15	39
Amerika	-	1	9	50	143	191
Ausztrália	-	-	-	4	10	10

1.3. táblázat A világ legnagyobb városai (milliókban)

1800	1914	1939
Peking (2,5)	London (7,3)	New York (10,5)
Hangcsou (2,0)	New York (6,0)	London (8,3)
Tokió (1,0)	Párizs (4,5)	Tokió (6,0)
London (0,9)	Berlin (3,8)	Párizs (5,1)

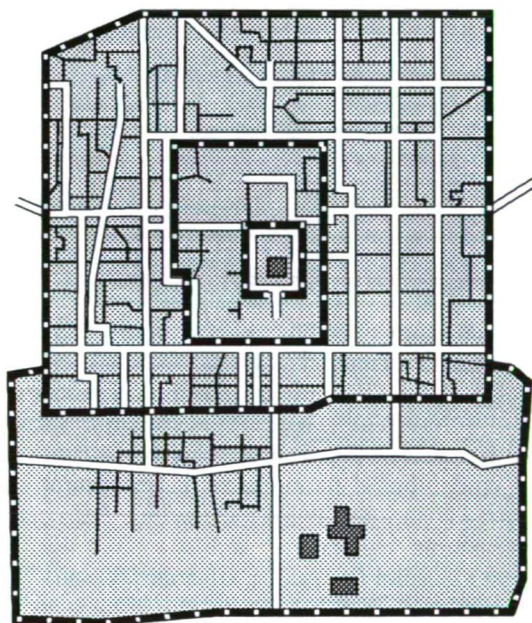
Az idők folyamán sajátos városszerkezeti típusok alakultak ki (1.3. ábra). Bizonyos területeken a geometria szabályai tükröződnek vissza a derékszögű négyszögformákban. Így van ez az ókori Rómában, a kínai városoknál és ez a szerkezet jelenik meg jóval később az Újvilágnak nem csupán az északi földrészén (pl. New York), hanem a délin is (pl. Buenos Aires). Ezekkel szemben az arab-izlám és a középkori európai városok szerkezete más. Az arab házak ötletszerűen vannak egymáshoz építve, befelé fordulók, kis belső udvarokkal. Európában a római típusú városok az 5-6. század táján szinte teljesen elpusztultak és az első ezredfordulóval kialakulóban lévő új városstruktúrák leginkább az arab stílus szabálytalan sokszögűségét formázták. Jóval később, a múlt századtól kezdődően, sugárutas, körutas városformációkat hoztak létre (pl. Párizs, Budapest, Szeged). Ezzel szemben az arab-izlám tí-

pus hagyománytartóbbnak bizonyult, amit részben azzal is lehet magyarázni, hogy ebben a térségben a nagycsalád intézménye stabilabb, mint Európában.

1.4. táblázat A világ legnépesebb városai a történelem folyamán (Schneider, 1973)

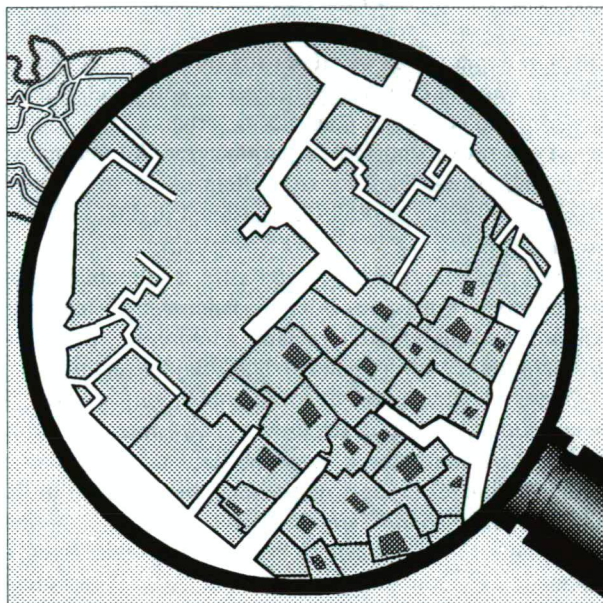
Időszak	Város	Akkori ország	Mai ország	Legnagyobb lélekszám
i.e. 4. évezred	Ur	Babilónia	Irak	30 000
i.e. 3. évezred	Uruk	Babilónia	Irak	100 000
i.e. 1700-700	Babilon	Babilónia	Irak	150 000
i.e. 7. század	Ninive	Asszíria	Irak	120 000
i.e. 600-400	Babilon	Babilónia	Irak	350 000
i.e. 400-300	Pataliputra	Magadha	India	500 000
i.e. 300-150	Szeleukia	Szeleukida bir.	Irak	600 000
i.e. 150-i.sz. 350	Róma	Római bir.	Olaszország	1 100 000
350-800	Bizánc	K-Római bir.	Törökország	700 000
800-900	Bagdad	Kalifa bir.	Irak	750 000
900-1100	Angkor	Khmer bir.	Kambodzsa	1 500 000
1100-1300	Hangcsou	Kína	Kína	2 000 000
1300-1850	Peking	Kína	Kína	2 550 000
1850-1920	London	Anglia	Anglia	8 000 000
1920-1957	New York	USA	USA	14 100 000
1957-kb. 1980	Tokió	Japán	Japán	20 000 000
kb. 1980-	Mexikóváros	Mexikó	Mexikó	> 20 millió

(a)

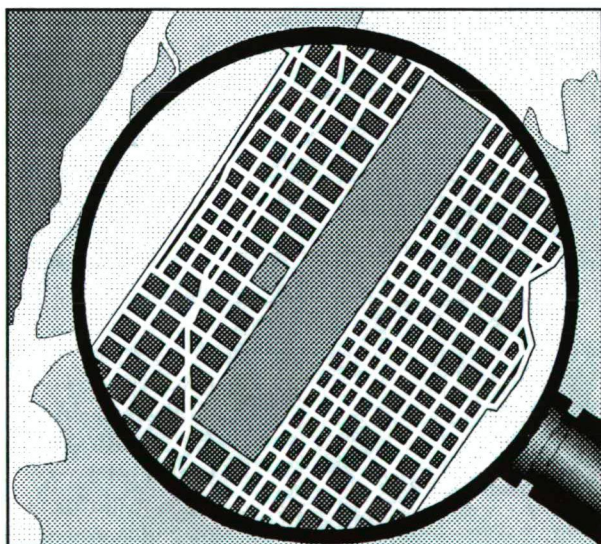


A különböző korok urbanizációs szintjét jól példázzák a városi lakosság arányszámai az össznépességhez viszonyítva. Ezek szerint 1800-ban a Föld lakóinak mindössze 2,4%-a, 1900-ban 13,6%-a, 1950-ben 29%-a, 1960-ban 33,6%-a, 1985-ben 41%-a és végezetül 1995-ben 45%-a élt városokban. Látható, hogy a városodás az elmúlt néhány évtizedben gyorsult fel, és a 20. század folyamán öltött hatalmas méreteket. Jelenleg világviszonylatban 200 felett van a milliós nagyvárosok száma. Folyamatosan nőnek a beépített területek, arányuk a sűrűn lakott országokban a 10%-ot is meghaladja. Magyarországon a népesség kb. 2/3-a lakik városokban (63% - 1996).

(b)



(c)



1.3. ábra Városalaprajzi típusok: (a) kínai - Peking, (b) arab-iszlám - Fez és (c) amerikai - New York (Mézes, 1995)

1.2. A városklíma térbeli lehatárolása

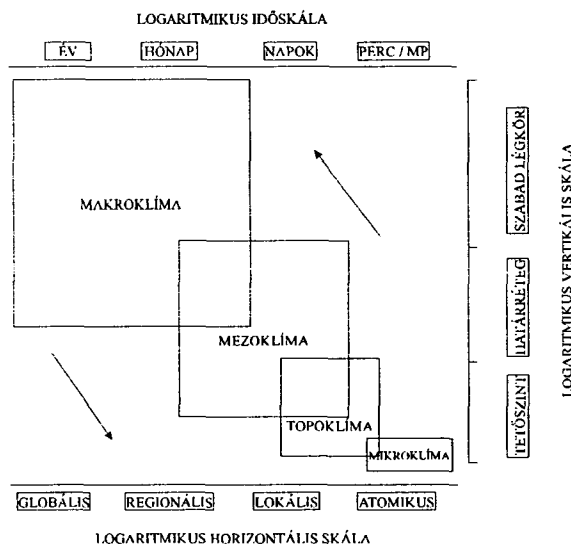
A fentiek alapján napjainkban az emberiség mintegy felét érintik a tulajdonképpen mesterségesen létrehozott városi környezet terhelései: a környezetszennyezés, a zaj, a felfokozott életritmussal együttjáró stressz és nem utolsó sorban a városi légtérnek - a természetes környezethez képest - megváltozott fizikai paraméterei. A tanulmány főleg a klimatológiai szempontból fontos módosulásokkal, sajátos jellemzőkkel, azok kialakulásának okaival, valamint e módosulások és a környezet kölcsönhatásaival foglalkozik, szükség szerint érinti a légszennyeződés kérdéseit is.

A megváltozott városi levegőkörnyezetet csak a különböző léptékű meteorológiai folyamatok eredményeképpen kialakuló éghajlat ismeretében lehet tárgyalni, értékelni. Ezért feltétlenül kívánatos a klímarendszer vázlatos áttekintése.

Az *éghajlat* nem más, mint a légkör fizikai tulajdonságainak és folyamatainak egy adott helyen hosszabb időszak (több évtized) során a többi geoszférával és egymással is kölcsönhatásban álló rendszere. Az éghajlati jelenségeket az érintett légterek mérete alapján lehet osztályozni (1.4. ábra). A kontinensek, nagyobb területek földrajzi helyzete, domborzati viszonyai és az általános légkörzés sajátosságai szabják meg az 1-10 millió km^2 nagyságrendű földrajzi övezetekre jellemző *zonális klímát*, illetve az övezeteken belül a néhány ezer km^2 területű nagy tájakra jellemző *regionális klímát*. Ilyen a nagy hegységek, hegyvidékek, a tágas medencék és a síkságok éghajlata. A kettő összefoglaló neve a *makroklíma*. A makroklimatológiai alapadatokat a talaj feletti 2 méter magas légtérben, szabad térszín felett elhelyezett szabványműszerek általában 30 évet átfogó mérési sorozatai adják. Vannak olyan kisebb térségek, amelyeknél a felszín természetes vagy mesterséges helyi sajátosságai révén többé-kevésbé állandóan létező és a tágabb környezettől eltérő éghajlati jellegzetességek mutathatók ki, vagyis önálló éghajlattal rendelkeznek. Ezek a néhány ezer km^2 -es nagyságú felszíneken (kisebb medencék, tavak, erdők, városok) alakul ki a

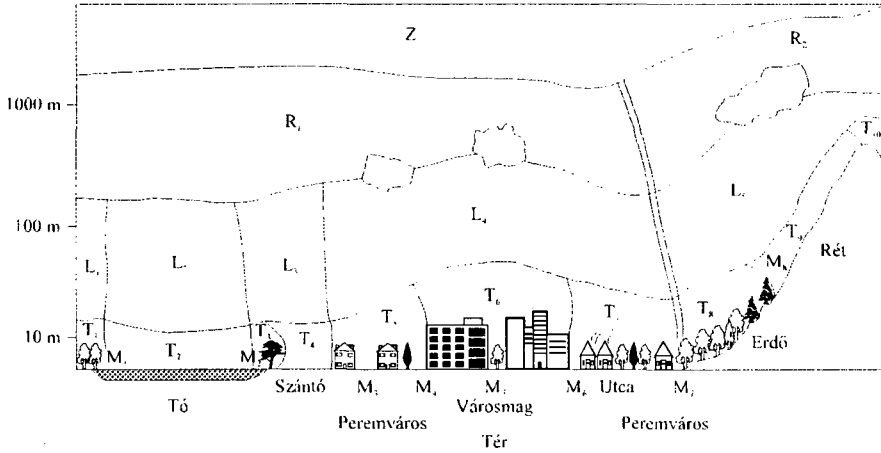
lokális (helyi-) vagy mezoklíma. A kisebb, néhány ezer 10^4 m^2 - 1 km^2 -es területeken - bizonyos feltételek mellett, tehát csak időlegesen - a *terep- vagy topoklíma* uralkodik. Ez jellemző a különböző lejtők, völgyek, vízpartok, valamint a homogén beépítettségű települések és városrészek éghajlatára.

A felszínközeli légrétegeknek és a zárt helységeknek is van igen kis, néhány ezer 10^3 m^2 nagyságrendű területeken érvényesülő éghajlata, az ún. *mikroklíma*, amely erősen különbözhet a nagyobb légtér klímájától. A szabadban megfigyelhető mikroklímák időben igen változékonyak, rövid élettartamúak és jellegzetes kifejlődésük egy adott időjárási helyzethez kötődik. A városokban, főleg a nagyobbakban fellelhető mikroklímák tarka mozaikszerűségükkel tűnnek ki. Az



1.4. ábra Az éghajlati típusok időbeli és térbeli (vertikális és horizontális) kiterjedése (Nkemdirim, 1994)

utcák, terek, parkok és udvarok mind sajátos éghajlattal rendelkeznek, amelyekben azonban közös vonások is vannak. Ezek a közös vonások éppen a helyi éghajlat, a városklíma keretében jutnak kifejezésre. A különböző klímák térbeli egymásra épülését az 1.5. ábra mutatja be szemléletesen.



1.5. ábra Az éghajlati jelenségek térbeli dimenziói: Z = zonális klíma, R = regionális klíma, L = lokális (helyi) klíma, T = topoklímák, M = mikroklímák (Probáld, 1981)

2. A város éghajlatmódosító hatása

2.1. A városklíma kialakulásának okai

Az utóbbi néhány évtizedben nagyon sok olyan vizsgálatot írtak le, amelyekből számos általános törvényszerűség vonható le. Feltétlenül hangsúlyozni kell azonban, hogy minden nagyobb város éghajlata rendelkezik olyan sajátos vonásokkal, amelyek csak arra az adott városra jellemzőek.

A város földrajzi elhelyezkedése az adott nagyléptékű éghajlati zónában, mérete (lakosság, terület), szerkezete, gazdaságának milyensége jelentős hatással van a kialakult éghajlati különbségek mértékére. A természetföldrajzi adottságok (pl. medencefekvés, tengerparti elhelyezkedés) erősíthetik vagy gyengíthetik az antropogén okok hatására bekövetkező változások szerepét.

A vizsgálatok során arra törekszenek, hogy a város által kiváltott hatásokat minőségi formulákba foglalják össze és ahol lehetséges, megadják a mennyiségi változások mértékét is. Az eredményként kapott adatok reálisan mutatják az urbanizáció által kiváltott éghajlati változások nagyságrendjét. E változások főbb okozói a következők:

- A természetes felszín épületek és vízátnemeresztő utak, járdák - vízelvezető csatornarendszerekkel kombinálva - helyettesítik. A felszín térbeli rendellenességei az utcák és a parkok felületétől a különböző tetőmagasságokig terjednek.

- A járdák, utak és az épületek anyagainak fizikai tulajdonságai lényegesen különböznek az eredeti felszín sajátosságaitól. Általában kisebb albedóval, nagyobb hővezetési tulajdonsággal és hőkapacitással rendelkeznek. A természetes helyett egy új, elsődlegesen sugárzó felszín alakul ki a beépített területek tetőszintjében.

- A helyi energiaegyenleg lényeges része az emberi tevékenység által (ipar, közlekedés, fűtés) termelt és a környezetbe kibocsátott vagy kikerült hő is.

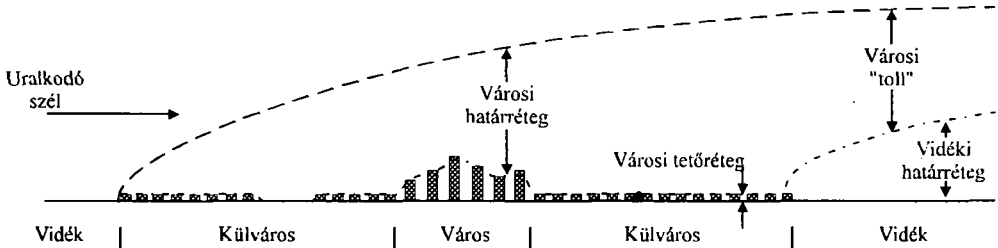
- Nagyon fontos tényező a fűtés, közlekedés és az ipari folyamatok során keletkező idegen anyagok, így a vízgőz, gázok, füst és egyéb szilárd szennyezőanyagok (aeroszol) mennyisége. Ezek a várost lefelszerűen vonják be.

A városklíma jellemzőinek megismerése előtt röviden foglalkozni kell a felszín közelében lévő légköri rétegződésekkel, amelyek kölcsönhatásban állnak a felszínnel és amelyeknek a fizikai tulajdonságai a felszín tulajdonságaival összhangban alakulnak. A városklíma szempontjából különösen nagy jelentősége van a települések felett kialakult rétegeknek. Ezek a következők:

- *Légköri határréteg* - a földfelszín közelében elhelyezkedő 600-1000 m magasságú légréteg, amelyben döntő módon a felszíni sajátosságok határozzák meg az egyes meteorológiai paraméterek jellemzőit. Az eltérő fizikai és dinamikai tulajdonságok alapján a rétegen belül elkülönül a kb. 100 m vastagságú *talajközeli határréteg*.

- A települések felett alakul ki a *városi határréteg* (*urban boundary layer - UBL*), amelynek magassága jelentős mértékben függ az érdességi viszonyoktól. A városi határréteg tetőszint alatti és feletti rétegekre különíthető el. A városi határréteg, amelynek alapja a tetőszint közelében van, lokális vagy mezoskálájú jelenség, amelynek jellemzőit az általános városi felszín alakítja ki. Az átlagos tetőszint magasságában kialakuló ún. *városi tetőszint réteg* (*urban canopy layer - UCL*) tulajdonságait mikroskálájú (épületekhez, terekhez, parkokhoz, stb. kapcsolódó) folyamatok kormányozzák (Oke, 1976). A 2.1. ábrán látható, hogy a városi határréteg burokként veszi körül a várost és függőleges kiterjedése meghaladja a vidéki határréteg magasságát. Enyhe és közepes erősségű szél esetén a városi határréteg egy

"toll" - más elnevezésekkel: "tollpohely" vagy "zászló" - (*plume*) formájában elnyúlik a vidéki (természetes) légköri határréteg felett a széliránynak megfelelően.



2.1. ábra A két rétegre osztható városi légkör szerkezete (Oke, 1976)

2.2. A városi légkör összetétele

A város nagymértékben felelős a levegő szennyezéséért, amely nagyrészt a különböző égési folyamatok eredményeképpen jelentkezik. Ez a szennyező hatás megváltoztatja a légkör termikus tulajdonságait, csökkenti a napsugárzást és nagymennyiségű kondenzációs magvat szolgáltat. A légszennyezés nagy, általános problémaként jelentkezik mind a város-lakók, mind a tervezők számára. Anyagukat, halmazállapotukat tekintve - a városklíma szempontjából - a következők szerint csoportosíthatók:

(a) *Aeroszok* - Lassan leülepedő anyagi részecskék, amelyek főleg szén, ólom, alumínium és szilikát összetételűek. Mérésük mg/m^3 vagy $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -ben történik. (Vannak egyébként olyan kis méretű aeroszok is, amelyek nem ülepednek le, hanem lebegnek.)

(b) *Gázok* - Ide tartoznak a hagyományos ipari és lakossági tüzelőanyagok elégetésekor keletkező gázok, például a kén-dioxid (SO_2), valamint a benzin és az olaj égésével felszabaduló szénmonoxid (CO), szénhidrogének, nitrogén-oxidok (NO_x), az ózon (O_3), stb. Mérésük ppm-ben (parts per million = milliommód térfogatrész) történik.

A légköri szennyeződésekkel foglalkozva a következőket kell figyelembe venni:

- a szennyeződések eloszlása nagymértékben a légkör stabilitási viszonyaitól (elsősorban az inverziók meglététől vagy hiányától) és a levegő vízszintes irányú mozgásától függ.
- az aeroszok ülepedéssel és kimosódással idővel eltávoznak a légkörből.
- egyes anyagok olyan fotokémiai reakciókban vesznek részt, amelyek bizonyos anyagokat lebontanak, másokat viszont felépítenek.

(a) *Aeroszok* - Az egész Föld hőháztartását befolyásolják a természetes eredetű aeroszok, amelyek a sivatagok por-, a vulkánok hamufelhőit alkotják, illetve az erdőtüzeknél keletkeznek. Az elmúlt egy évszázad alatt különösen Euráziában növekedett meg az átlagos porkoncentráció, ami csak részben írható a nagy vulkánkitörések számlájára (pl. Bali szigetén 1963-ban és Kamcsatkán 1966-ban). A légköri pornak az a része, amely közvetve vagy közvetlenül emberi tevékenységből származik, a becslések szerint eléri a 30%-ot. Érdekes példaként a 2. világháború egyik nagy észak-afrikai tankcsatája említhető meg, amely annyira felkavarta a sivatagi felszínt, hogy az így levegőbe került hatalmas mennyiségű por még a Karib-szigetek fölé is eljutott.

A kis részecskék ($0,01$ - $0,1 \mu\text{m}$ átmérő) koncentrációja pl. vidéken átlagosan $150 \text{ ezer db}/\text{cm}^3$ (egyes brit területeken csak 9500 !), míg a városokban elérheti a 4 millió

db/cm³-es értéket is. Ezt a Bécs ipari körzeteiben már az 1946-ban végrehajtott mérések mutatták ki. Hasonló a helyzet a nagyobb (0,5-10 µm átmérő) részecskék esetében, amelyekből pl. Lipcsében 25-30 db/cm³ volt a városi levegőben és csak 1-2 db/cm³ a vidékiben. Az Egyesült Államokban 1975-ben az 50 000-nél kisebb lakosú településeken az ülepedő részecskék éves átlaga 60 µg/m³, a 300-500 000 közötti lakosságú városokban 100 µg/m³, az 1 milliós nagyvárosokban 120 µg/m³ körül alakult. Sokat mond azoknak a napoknak az éves száma, amelyeken a részecske-szennyezés meghaladja a még "elfogadható"-nak minősített 260 µg/m³ értéket. 1974-ben Baltimore-ban 20, Birmingham-ben 30, Cleveland-ben 80 és az acélvárosnak nevezett Steubenville-ben 100 ilyen nap volt. Ezeknek a részecskéknek a legnagyobb része a keletkezési helyük szomszédságában ki is hullik a levegőből, vagyis terhelő hatásukat elsősorban a keletkezés körzetében fejtik ki. A legnagyobb koncentráció általában akkor jelentkezik, amikor enyhe szél fúj, gyenge a függőleges irányú turbulencia, hőmérsékleti inverzió alakul ki, magas a relatív nedvesség. Fontos, hogy az enyhe szél a szennyezőforrásként jelentkező ipartelek vagy a sűrű beépítettségű városrészek felől fújjon. A lakásfűtés és elektromos áram iránti igény változása jellegzetes ciklusokat okozhat a városok légszennyeződésének évszakos és napi menetében. Télen a legnagyobb koncentráció általában reggel 8 óra körül jelentkezik. Ez a gyors reggeli koncentráció-növekedés azonban részben természetes folyamatok következménye, mivel a felszín feletti néhány száz méteres stabil réteg alatt éjszaka megszorult szennyeződést a beinduló termikus konvekció visszahozhatja a földfelszín közelébe (Barry and Chorley, 1982).

Az aeroszolos légszennyezés közvetlen hatása a Nap besugárzásának, a megvilágításnak a csökkenése. A szennyezés és a hozzá kapcsolódó köd (együttes nevén *füstköd* = *szmog*) korábban, pl. a brit városok esetében a téli időszak alatt (novembertől márciusig) a beérkező szoláris sugárzás 25-55%-os veszteségét eredményezte. Egy 1945-ös becslés szerint Leicesterben a sugárzáscsökkenés télen 30%-os, nyáron csak 6%-os volt. Ezek a veszteségek természetesen akkor nagyobbak, amikor a napsugarak alacsonyabb szögben érik a szmogréteget. Egy bécsi mérés szerint a városnak a környezetéhez viszonyított besugárzási vesztesége 30%-os napmagasságnál 15-21%, de a veszteség 29-36%-ra nő, ha a napmagasság 10%-ra csökken.

Londonban a füstnélküli tüzelőanyagok használata és más, a szennyeződést csökkentő szabályok betartásának hatására az 1952-es 141 ezer tonnás füst kibocsátás 1960-ra 89 ezer tonnára redukálódott.

Véletlenszerűen a nagyon stabil légköri feltételek is kombinálódhatnak a normálisnál nagyobb szennyezőanyag-kibocsátással, ami olyan sűrű szmog kialakulását eredményezi, amelynek következtében akár halálos áldozatok is lehetnek. Klasszikus példa erre London, ahol 1952. december 5-9. között a város felett kialakult hőmérsékleti inverzió olyan sűrű füstködöt hozott létre, amelyben a látástávolság 48 órán keresztül 10 m-nél kisebb volt. Ennek tulajdonítják a halálozások számának megugrását az 1953 februárjáig tartó periódusban, amely szerint ekkor 12 000-rel több haláleset volt, mint a megelőző év hasonló időszakában. Természetesen ez a kiemelkedően nagytöménységű szmog nem közvetlenül szedte áldozatait. Azok számára jelentette a végső rizikófaktort, akik idősebb, vagy légzőszervi és keringési problémákkal küszködő emberek voltak. Ilyen tragikus mértékű légszennyezés Londonban - a törvények és szabályozások következtében - azóta sem fordult elő, ezért az itteni intézkedéseket példaértékűnek tekinthetjük.

(b) Gázok - A füst és más részecskék által okozott szennyeződésekhez (amelyek a hagyományos széntüzelésen alapuló városi és ipari tevékenységek révén keletkeznek) egy sor szennyező gáz is társul. Londonban a levegőtisztasági törvény (Clean Air Act) előtt a

füstkibocsátásért 80-90%-ban, a kén-dioxid kibocsátásért csak 30%-ban a háztartások voltak a felelősek. A maradék megoszlott az elektromos áramot termelő erőművek (41%) és a gyárak (29%) között.

A nagyvárosok levegőjében előforduló fontosabb gázokat és azok átlagos koncentrációját 2.1. táblázat tartalmazza.

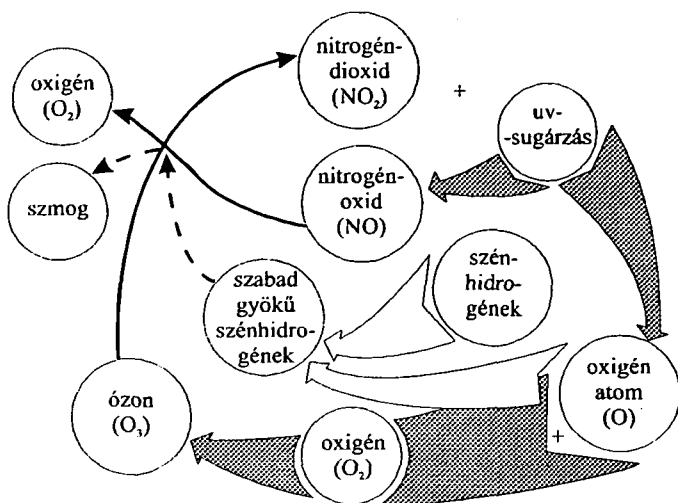
2.1. táblázat Néhány szennyező gáz a nagyvárosok levegőjében (ppm)

szén-dioxid	360-1000
szén-monoxid	1-200
kén-dioxid	0,01-3
nitrogén oxidok	0,01-1
aldehidek	0,01-1
oxidánsok (ózon is)	0-0,8
kloridok	0-0,3
ammónia	0-0,21

Napjainkban a városi komplexumoknak olyan újabb, kevésbé szembeötlő, de káros szennyezőanyagokkal kell szembenézniük, amelyek a kőolaj és származékainak elégetésekor kerülnek a légkörbe. Forrásaik a személyautók, teherautók, repülőgépek és a petrolkémiai üzemek. A hegyekkel nagyrészt körülzárt és hőmérsékleti inverzióknak gyakran kitett területen fekvő Los Angeles szokás általában negatív példaként emlegetni az ilyen jellegű gázszennyeződések kapcsán, bár bizonyos szinten minden modern város ki van téve ennek a veszélynek. Los Angelesben 7 millió ember 4 millió személyautót használ, ami naponta 30 millió liter üzemanyag elégetését és ezáltal több, mint 12 000 tonna szennyezőanyag termelését jelenti. Ehhez jön még a 13 500 teherautó és busz 0,5 millió liter dízel üzemanyaga és a repülőgépek (város közelében felhasznált) 2,5 millió liter kerozinjának elégetésével képződő szennyezőanyag. A keletkező szén-monoxid mennyisége akkora, hogy a város 1760 km²-es területe feletti 120 m vastagságú légrétegben a koncentráció eléri a 30 ppm-et. A kialakuló szmog - ellentétben a hagyományos városi szmoggal - nyáron és ősszel napközben jelentkezik.

Ez az ún. fotokémiai szmog nagyon bonyolult kémiai reakciók láncolatának végeredményeként jön létre (2.2. ábra). A napfény ultraibolya sugarai a NO₂-ot NO és O-re bontják le. Az aktivált atomos oxigén azután egyesül a kétatomos oxigénmolekulával és ózon (O₃) keletkezik. Az ózon reakcióba lép a mesterségesen létrejött NO-dal, aminek révén oxigén és NO₂ jön létre, ami újra visszakerül a fotokémiai ciklusba és így egy visszacsatolási folyamat indul be (folytonos nyilak). Ez az NO₂ ciklus mindazonáltal nem felelős a fotokémiai szmognál megfigyelt magas O₃ koncentrációért, mert az NO₂ és az O₃ folyamatos keletkezése és lebomlása kiegyenlíti egymást. A felhalmozódó ózont a járművek által kibocsátott szénhidrogének reakciói termelik, ugyanis egyesülésük az atomos oxigénnel szabad gyökökkel rendelkező agresszív szénhidrogéneket hoz létre, amelyek az O₃-NO reakció termékével együtt létrehozzák a fotokémiai szmogot (szaggyalult nyilak) (Oke, 1987).

A Los Angeles-i medencében a fotokémiai szmog éves szinten (a napi magasabb értékek átlagait figyelembe véve) a legmagasabb koncentrációval azért jelentkezik késő nyáron és ősszel, mert ekkor általában tiszta az égbolt, gyenge a szél és az erős napsugárzás hőmérsékleti inverzióval párosul. A városi légtér szennyezőanyagainak koncentrációi jellegzetes napi menetet mutatnak, például az NO₂ kora reggeli magas koncentrációja a felerősödő



2.2. ábra A fotokémiai szmog keletkezésének sémája (Oke, 1987)

forgalommal, az O₃ legmagasabb koncentrációja a legerősebb besugárzással esik egybe. Ennek a típusú szmognak nemcsak az a hatása, hogy módosítja a városok sugárzási egyenlegét, hanem komoly rizikófaktort jelent az emberek egészsége szempontjából is. Védekezésképpen például Tokióban sok polgár gázálcot visel az utcán és az utak mentén több helyen is tiszta oxigént szolgáltató automaták állnak, mert az oxigén belégzése segít megsza-

badítani a vér hemoglobint a hozzá erősen kötődő CO-tól.

(c) *Egyéb* - Az eddig említett szennyezőanyagokon kívül lebegő mikrobák is találhatók a levegőben, amelyeknek a számbeli megjelenésére szintén módosító hatással van a város, hasonló módon, mint a kémiai anyagok esetében. Napjainkban még nem ismeretesek ennek a pontos okai. Egyes elméletek szerint ez azért van, mert a mikrobák hozzátapadnak a légtérben lévő egyéb szennyezőanyagokhoz. Bécsben például a városközpontban a koncentráció 800 db/m³, a külterületeken csak 200 db/m³ volt az ötvenes években. Eső után, a kimosódás következtében - ami megfigyelhető a por és a kondenzációs magvak esetében is - a koncentráció 40%-kal csökkent. Az alacsonyabb hőmérsékletek hatására is csökkent a mikrobák száma, így évszakos szinten ezen a területen télen és nyáron (az esők miatt) kisebb koncentráció jelentkezett, mint tavasszal és ősszel.

Érdekes mutatója a város szennyezettségének az is, hogy mekkora területen képesek még életteret találni a zuzmók. A belvárosból általában teljesen hiányoznak, ezért ezt a jelenséget gyakran "zuzmó-sivatagnak" is nevezik. Az asszimiláció miatt szervezetük általában bő nedvességet igényel, így magyarázatként eleinte az a nézet alakult ki, hogy kipusztulásuk oka a városok alacsonyabb relatív páratartalmában keresendő. Ezzel ellentétben viszont néhány fajuk nagyon jól bírja a szárazságot, de igen érzékeny a kén-dioxidra és más szennyezőanyagra. Több városban kimutatták, hogy a település növekedésével párhuzamosan nőtt a zuzmómentes területek nagysága. Például Münchenben, amelynek 1890-ben 350 ezer lakosa volt, a "zuzmó-sivatag" területe 8 km² volt és 1956-ban, amikor a város 1 millióra nőtt, a zuzmómentes terület már 58 km²-t fedett le. Szegeden már a 80-as évek elején egy 4 km sugarú koncentrikus körben nem volt zuzmó.

A városi légszennyeződés napi áldozatai azok a városi környezetben élő tömegek, akiknél a különböző gázoknak, aeroszoloknak és mikrobáknak a természetet meghaladó mennyisége hosszabb időszak alatt allergiát, szemgyulladást, hörgőgyulladást, asztmát és egyéb légúti megbetegedéseket vált ki. Egyelőre az urbanizáció és a fogyasztási javak mennyiségének növekedésével az érintett emberek száma - mint ahogy ezt környezetünkben is könnyen megfigyelhetjük - abszolút és relatív értelemben is egyre nő.

(d) *A légköri szennyeződés eloszlása* - A város feletti szennyezett légkör jellegzetes alakot vesz fel, attól függően, hogy milyen a környező légtér függőleges hőmérsékleti eloszlása, van-e hőmérsékleti inverzió, és milyen erős a szél. A szél erőssége igen fontos hatással van a szennyezőanyagok koncentrációjának nagyságára (2.2. táblázat).

2.2. táblázat A kéndioxid koncentrációja a szélerősség függvényében (Halléban télen)

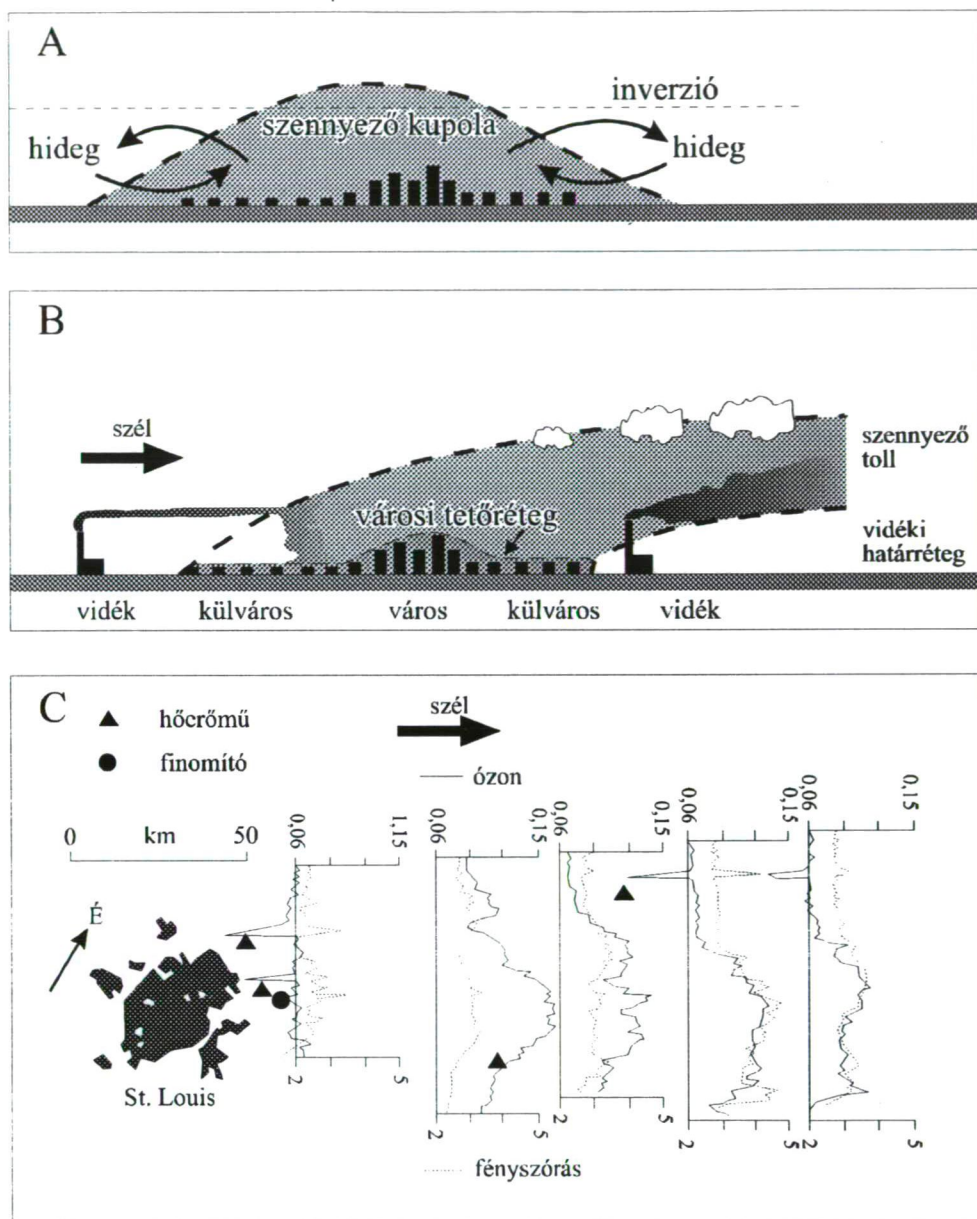
szélsebesség (m/s)	0-1,9	2-3,9	4-5,9	6-7,9	8-9,9
közepes koncentráció (ppm)	0,55	0,39	0,30	0,26	0,25

Az inverziós réteg alatt a felgyülemelő szennyezőanyagok keverékéből egy szennyező kupola formálódik (2.3. ábra). Szabályosan csak szélcsendes helyzetben alakul ki, egyébként már 2 m/s sebességű szél esetében is elmozdul és 3,5 m/s esetében a már említett "toll-pehely" (plume) formát vesz fel (lásd még 2.1 ábra). A kupolának a városi tetőszint feletti része erősen felkeveredik, felhígul a légköri cirkuláció hatására. Kialakulhat olyan helyzet, hogy az inverziós fedőréteg megakadályozza ezt a függőleges irányú felkeveredést, és az eredetileg felszálló szennyezőanyagok emiatt visszajutnak a talajszint közeli légtérbe (fumigation). A szél irányába eső oldalon - már a városon kívüli területen - előfordulhat az, hogy a város irányából jövő szennyezőanyagok a vidéki (természetes) határréteg fölé kerülnek, amelyeknek így csak felfelé van felhígulási lehetőségük, lefelé nincs. Ennek eredményeképpen bizonyos magasságig kialakul egy viszonylag tiszta légtér a vidéki területek felett (lofting). Az ábra harmadik része a St. Louis-tól kiinduló szennyezett "toll" sajátosságait mutatja be a várostól 160 km-es távolságig a szél irányába eső oldalon. A fotokémiai reakciók bonyolultságának szempontjából nézve megfigyelhető, hogy a "tollon" belüli fotokémiai reakciók miatt az ózonkoncentráció megnő a várostól távolodva, de a hőerőművek felett lecsökken az ott kibocsátott NO-nak az O₃ lebomlását katalizáló tulajdonsága miatt. Ennek a "tollnak" a kiterjedése egészen 240 km-es távolságig volt kísérhető, de bizonyos feltételek mellett (intenzív szennyezőforrás, állandó nagyléptékű felszíni légáramlás és függőleges légköri stabilitás) a "toll" szélirányban akár több száz km-es távolságig is kimutatható.

2.3. Az energia- és vízháztartási egyenleg változásai természetes felszínen és városi területeken

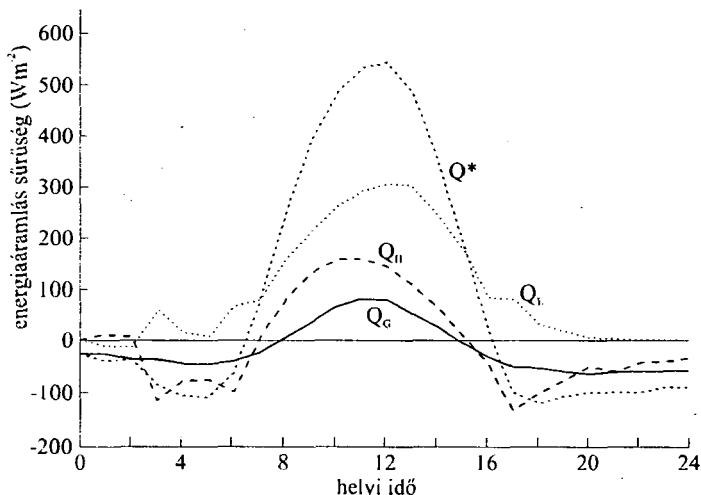
(a) A természetes felszínek energiaegyenlege

A természetes területek háztartási egyenlegének sajátosságait a felszínre jutó nettó sugárzási energia mennyisége szabályozza, amelyben nappal a rövidhullámú sugárzás dominál, éjszaka pedig kizárólag csak a hosszuhullámú sugárzás játszik szerepet. A felszín energiatöbbletét (vesztését) a talaj irányába (irányából) történő hőszállítás (Q_G), valamint a légkör irányába (irányából) történő konvektív szállítású érzékelhető és látens hőszállítás ($Q_H + Q_E$) vezeti el (pótolja). Egy adott esetben a tényezők konkrét arányát főleg a felszín természete, a talaj termális tulajdonságai és a légkör állapota (főleg a turbulencia szintje) szabályozza. Egy alacsony növényzettel borított felszín egyenlegében (2.4. ábra) a nappali sugárzási többlet 80-90%-a a levegőbe jut, de az éjszakai hosszuhullámú sugárzási veszteséget nagyrészt a talajban tárolt hő fedezi és csak kisebb arányban (10-50%) a légkör irányából érkező hőszállítás (amelynek az oka az ekkor visszafogottabb mértékű turbulens aktivitás).



2.3. ábra A városi szennyeződés alakzatai: **A** - városi szennyezett kupola, **B** - városi szennyezett "tollpohely" stabil légköri rétegződés esetén, **C** - a szennyezett "tollpohely" sajátosságai St. Louis-tól ÉK-re (Barry and Chorley, 1982)

A turbulens hőszállításon belül az érzékelhető és látens hő arányának megoszlása nagyrészt a felszín nedvességének mértékétől függ. Ha a felszín nedves, akkor az evapo-



2.4. ábra Az energiaegyenleg tényezőinek napi menete egy öntözött füves területen a Wisconsin állambeli Hancockban (Oke, 1982)

transpiráció eléri a maximálisan lehetséges 100%-ot, nagysága csak a rendelkezésre álló energia mennyiségétől függ. Ekkor a konvektív hőszállításon belül a látens hő aránya a döntő. A felszín nedvességének csökkenésével a sugárzási többlet egyre nagyobb része fordítódik a felette lévő levegő felfelelítésére, vagyis a Q_H szerepe megnő a Q_E rovására.

(b) A városi területek energiaegyenlege

A teljes UBL viszonylatában a városi felszín és a felette lévő levegő közötti - területileg átlagolt - energia-cserefolyamatokat célszerű figyelembe venni. Ekkor a város "felszíne" az UCL és az UBL közötti határfelületet jelenti. Az ezen a felületen keresztülhaladó energiaáramlás az egyes UCL-egységekről (pl. tetők, fák, gyepek, utak, stb.) kiinduló áramlások összegzése egy nagyobb területű, adott beépítettségi típussal jellemzett városrészre. Egy ilyen városrésznyi felszín közepére vonatkozó energiaegyenleg a következők szerint alakul (ha az advektív hatástól el lehet tekinteni):

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S$$

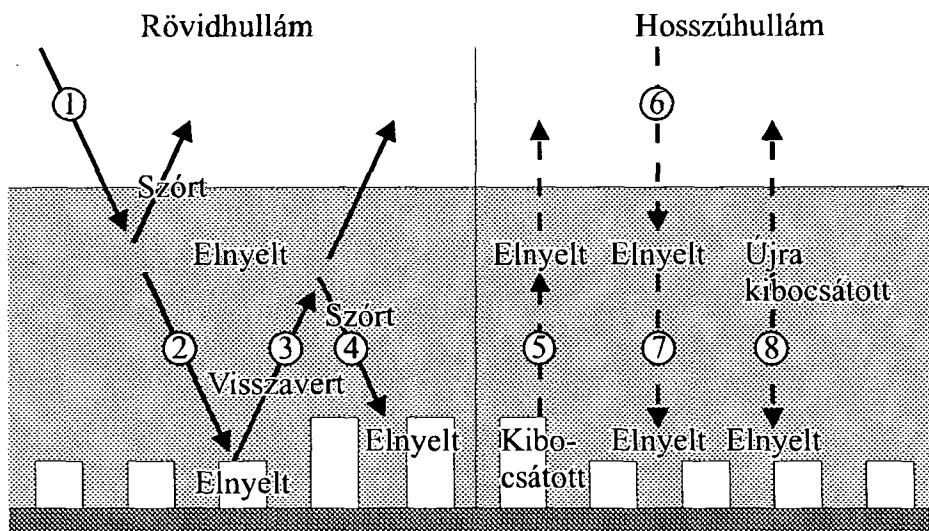
ahol Q^* - a teljes sugárzási egyenleg, Q_F - az antropogén hőtermelés, Q_H - a függőleges szállítású érzékelhető hő, Q_E - a látens hő és ΔQ_S - az energiátárolási tényező.

A Q_F tényezőt ki lehet következtetni, ha a fűtőanyagfelhasználás térbeli és időbeli mennyisége rendelkezésre áll, közvetlenül azonban nem lehet meghatározni a terepi mérések során. Ezért a gyakorlatban mérhető energiaegyenlegek ezt a tagot nem tartalmazzák elkülönülten, hanem a tulajdonképpeni hatás a többi tényező egyikében-másikában jelentkezik. A mérsékelt égövben nyáron a Q_F tényező tipikus napi átlaga az elővárosi 5 Wm^{-2} -tól a belvárosi 50 Wm^{-2} -ig ingadozik. Ezek az értékek a legtöbb esetben a mérési hibahatáron belül esnek, ezért elhanyagolhatónak tekinthetők, legalábbis nyáron (Oke, 1988).

Először azt kell megvizsgálni, hogy milyen hatása van a városnak a sugárzási mérleg rövid- és hosszuhullámú összetevőire. Ez a módosulás - legalábbis tényezőnként - jelentős lehet, amelynek okai a levegőben lévő szennyezőanyagokban és a felszín megváltozott sugárzási tulajdonságaiban keresendők. A különböző energiaáramlások tárgyalását a 2.5. ábra segíti.

A beérkező (1) és a felszínről visszaverődő (3) rövidhullámú sugárzás a külterületekhez képest erősebben gyengül a szennyezett városi légkörben. A felszín bevétele, amely a

direkt és szórt sugárzásból (2), valamint visszavertből (4) áll, általában 2-10%-kal kevesebb a városban (Peterson and Stoffel, 1980). Éves szinten például Budapesten 8%-os a besugárzás csökkenése (Probáld, 1974), ami nyáron az intenzívebb feláramlások, a turbulens átkeveredések és a fűtés hiánya miatt valamivel kisebb, télen viszont ennél lényegesen magasabb értéket mutat. A reggeli és délutáni órákban az alacsonyabb napmagasság miatt a sugarak hosszabb utat tesznek meg a szennyezettebb városi levegőben, ezért ekkor nagyobb a sugárzásvesztés, mint délben. Azonban a városban az albedó általában 0,05-0,10-dal alacsonyabb, mint a közepes szélességek vidéki területein (Oke, 1974), így a két hatás eredményeképpen a rövidhullámú sugárzás egyenleg értékeiben nem mutatkozik túl nagy különbség. Hasonlóan, egymást kioltó folyamatok lépnek fel a hosszúhullámú sugárzás esetében is. A szennyezett levegő és a városi felszín feltehetően kisebb emisszivitását a hősziget ellensúlyozza, ugyanis a magasabb hőmérsékletű felszín egy megnövelt kisugárzást eredményez (5). Ennek jelentős része elnyelődik a szennyezett rétegben és visszasugárzódik a felszínre a bejövő égboltisugárzás (6) egy részével együtt (7), emellett a hősziget feletti meleg levegő is bocsát ki többletsugárzást (8). Éjszaka ez az egyesített hosszúhullámú bevétel egy kicsit nagyobb a városban, mint a külterületen (Oke and Fuggle, 1972) és esetleg nappal is nagyobb maradhat a napsugárzás által felmelegített szennyezőanyagok miatt (Rouse et al., 1973). Összességében tehát az urbanizáció hatására megnő mind a hosszúhullámú bevétel, mind a kiadás is, ezért a kettő különbsége nem nagy. Számszerű példaként a 2.3. táblázatban szereplő értékek szolgálnak.



2.5. ábra A rövid- és hosszúhullámú sugárzási cserefolyamatok általánosított szerkezete a szennyezett városi határrétegben (Oke, 1982)

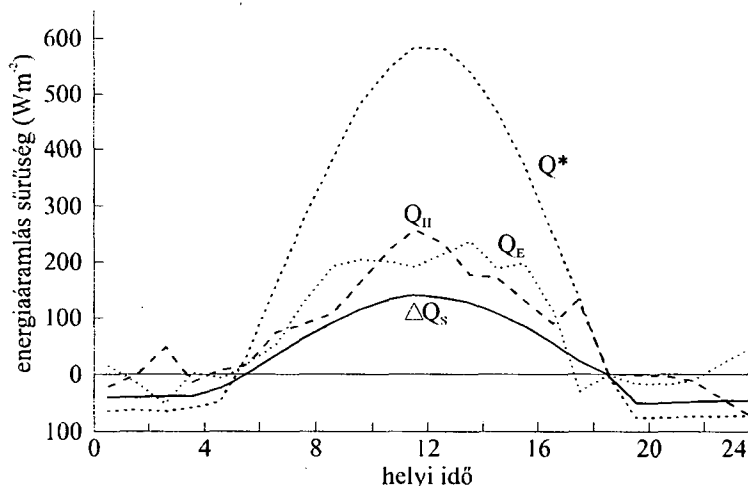
A fentiekből az következik, hogy a teljes sugárzási egyenlegnek (Q^*) a város és a külterület közötti különbsége nem jelentős, általában 5%-nál kevesebb (Probáld, 1975; White et al., 1978).

Az elővárosi (külvárosi) energiaegyenleg tényezőkre bontását, illetve azok napi menetét a 2.6. ábra mutatja be. Figyelemre méltó az a tény, hogy az érzékelhető és a látens hő-

áramlás egymáshoz nagyon hasonló mértékű a nappal folyamán. Tehát a párolgás nagysága (és az arra fordított energiamennyiség) egyáltalán nem jelentéktelen.

2.3 táblázat A sugárzási mérleg tényezői és az antropogén hőtermelés (Wm^{-2}) a nap különböző időpontjaiban Cincinnatiban nyáron (Barry and Chorley, 1982)

	Központi üzleti negyed			Környező vidék		
	08h	13h	20h	08h	13h	20h
bejövő rövidhullámú sugárzás	288	763	-	306	813	-
visszavert rövidhullámú sugárzás	42	120	-	80	159	-
hosszúhullámú sugárzási egyenleg	-61	-100	-98	-61	-67	-67
teljes sugárzási egyenleg	184	543	-98	165	587	-67
antropogén hőtermelés	36	29	26	-	-	-



2.6. ábra Az energiaegyenleg tényezőinek napi menete egy elővárosi területen Vancouverben (Kalanda et al., 1980)

szetevőinek nappali menetében két érdekességet érdemes megfigyelni. A délután második felében a Q_H csökkenése - bizonyos késéssel - a Q^* csökkenését követi, valamint a Q_H az éjszaka folyamán is pozitív (a légkör felé irányuló) maradhat.

Az előzőek szerint a külterületi és városi felszínek meglehetősen eltérő energiaháztartással jellemezhetők. Ennek oka nagyrészt a rendelkezésre álló nedvesség különbségeiben keresendő. Ha mindkettő nedves, akkor az eltérések kicsik, azonban egy száraz időszak alatt a város egyre inkább az érzékelhető hő egy viszonylagosan nagy helyi forrásává válhat (noha a városi területek öntözése mérsékelheti, vagy akár meg is fordíthatja ezt a tendenciát).

A 2.4. táblázatból az is kitűnik, hogy a város hőtárolása (ΔQ_s) általában jelentősen nagyobb, mint a külterületé, ami az építési anyagnak a természetes felszínhez képest vala-

A belvárosi területekről már kevesebb információ áll rendelkezésre (pl. Carlson et al., 1981), de az nagy általánosságban megállapítható, hogy a latens hő szerepe a vidéki területekhez képest tovább csökken. Másrészt, mint ahogyan az a 2.4. táblázatból is látható, a Q_E nagysága távolról sem elhanyagolható.

A városi energiaegyenleg ösz-

melyest nagyobb hővezetőképességével és nagyobb hőkapacitásával magyarázható. Ennek a jelentősége hangsúlyosabb az éjszaka folyamán, amikor a tárolási tényezőnek a városban és a külterületen is nagyobb szerepe van a teljes energiaegyenlegben és ez fontos lehet a magasabb városi hőmérséklet fenntartásában. A hőtárolásbeli eltérés azonban csak kisebb részben tulajdonítható az előzőeknek, feltehetően jelentősebb a felszínek geometriájában lévő eltéréseknek a szerepe.

2.4. táblázat Az energiaegyenleg összetevőinek tipikus arányai az átlagos napi sugárzási egyenleghez viszonyítva a külterületen, az elővárosban és a belvárosban (Oke, 1982)

beépítettség típusa	$\Delta Q_S/Q^*$	Q_H/Q^*	Q_E/Q^*
külterület	0,15	0,28	0,57
előváros	0,22	0,39	0,39
belváros	0,27	0,44	0,29

Összeségében megállapítható, hogy az urbanizáció hatására az energiaegyenlegben az érzékelhető és a tárolt hő szerepe megnő a látens hő rovására.

(c) A városi területek vízmérlege és eltérései a természetestől

A városi vízmérleget a

$$p + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A$$

egyenlet írja le, ahol p - a csapadék, F - az égés folyamán a levegőbe jutó víz, I - a városi vezetékrendszereken keresztül a folyókból és a víztározókból származó víz, E - a párolgás, Δr - a lefolyás, ΔS - a tárolás és ΔA - a város nettó nedvesség-nyeresége az advekciónak során.

A környezethez képest a város vízbevételét az F és I tényezők megnövelik, míg a vizsgálatok szerint a városi párolgás (E) és tárolás (ΔS) kisebb, mint a természetes felszínké. Az evapotranspirációt csökkenti a növényzet kisebb mennyisége és a nagyarányú - vízátnemeresztést biztosító - beépítettség (noha néhány építési anyag egészen jó víztározó). A nagyfokú impermeabilitás miatt a város egészében feltartóztatja a lehulló csapadékot, ennek azonban csak kis része marad meg tárolásban, a többit a - csatornarendszerek révén - megnövekedett lefolyás (Δr) elvezeti.

2.4. Az éghajlati elemek módosulásai

A városi és a természetes felszín eltérő energiaháztartásának eredményeképpen általában *hőmérsékleti többlet*, az előbb említett *városi hősziget* alakul ki. Több amerikai, észak- és kelet-európai településen végzett vizsgálat esetében télen vagy kora ősszel mutatható ki a legnagyobb pozitív eltérés a város javára, máshol ez a hőmérsékleti többlet alig változik az évszakokkal. Pl. Budapesten havi átlagban 1-1,5°C eltérés mutatkozik, januári maximummal (Probáld, 1974).

A hőmérsékleti többlet napi járása esetében nyáron általában az esti-éjszakai órákban, a naplemente után 3-5 órával következik be a maximum (Oke, 1979, 1982), ami a me-

leg nyarú területeken kellemetlen, terhelő tényezőt jelenthet a pihenni vágyó ember számára. Télen a többlet napi menete sokkal kiegyenlítettebb, de szintén este a legnagyobb.

A városi hősziget legszembetűnőbb formában derült, szélcsendes vagy gyengén szeles időben fejlődik ki. A borús, szeles időjárás elősegíti a hőmérsékleti különbségek csökkenését, sőt elmosódását. Az a kritikus érték, amelynél nagyobb szélsébség esetén már nem alakulhat ki önálló hősziget, erősen függ a város méretétől. Egy nagyobb város fejlettebb hőszigete erősebb szélnek is ellenáll. A kialakult melegebb légtér a város beépítettségi szerkezetétől függően akár 200-400 m magasságig is kimutatható.

A hősziget következményeként a városokban csökken a fagyos és téli napok száma, a hideg időszakok tartamgyakorisága, valamint nő a nyári és hőségnapok száma, a meleg időszakok hossza a környező területeken észleltekhöz viszonyítva.

A növényzet és a párologtató természetes felszínek nagymértvű hiánya és a magasabb hőmérséklet miatt a városokban nagyobb a levegő kiszáradásának hajlama, ami az alacsonyabb *relatív nedvesség* értékeiben jelentkezik. A legnagyobb eltérések (8-10%) - összhangban a hőmérsékleti többlet maximumával - az esti órákban és nyáron jelentkeznek. Az *abszolút nedvesség* esetében az eltérés iránya nem általánosítható ilyen egyértelműen, függ az időszaktól és a vizsgált várostól.

A kondenzációs magvakban a természetesnél jóval gazdagabb városi légtér kedvez a *köd* keletkezésének. Kimutatható, hogy a nagyvárosokban - különösen, ha folyó keresztezi, vagy nagyobb vízfelület van a közelében - gyakoribb és tartósabb a ködképződés, mint a környezetükben. A városokban sokszor ún. száraz köd is megfigyelhető, amely a levegőben lévő szilárd szennyezőanyagokból áll össze, és hatására a látástávolság nagymértékben lecsökken.

A felszín erős tagoltsága következtében fellépő nagyobb sűrűlódás miatt a városokban a *szélsébség* akár 20-30%-kal gyengülhet, míg a heves szellőkések esetében a csökkenés 10-20%-os. Ezekről az átlagos értékektől a különböző irányú útvonalak és terek mentén, a magas házak között igen változatos eltérések jöhetnek létre. Bizonyos esetekben, pl. szélcsatornák kialakulásakor a szél erősödése is megfigyelhető. A nagyvárosokban a központban felemelkedő levegő pótlására befelé tartó áramlás indulhat meg - az épületek akadályozó volta miatt - a tetőszint felett, és így kialakulhat a *városi szélrendszer*. Ez a cirkuláció elsősorban nyáron az esti-éjszakai órákban fejlődik ki derült, szélcsendes időjárási helyzetben. A városi szélrendszer voltaképpen egy nagyméretű természetes szellőztető berendezés funkcióját tölti be, mert a belváros szennyezett levegőjét részben elszállítja és helyébe a városon kívüli területek tisztább, hűvösebb levegőjét hozza. Hatékonyságát rontja, hogy tevékenységét nem az utcák szintjében fejti ki, ezért ott a szennyezőanyagok koncentrációja kevésbé csökken.

Az általános szélsébség-csökkenés az emberek hőérzetét nyáron kedvezőtlen, télen pedig kedvező irányba befolyásolja. Hatására gyengül a szennyezőanyagok felhígulása a talajszint közelében.

A felszíni és légköri tulajdonságok, valamint az éghajlati elemek módosulásának általános összefoglalását nyújtja a 2.5. táblázat, amelynek tanulmányozásánál figyelembe kell venni, hogy az egyes városok esetében - az egyedi sajátosságok miatt - jelentős eltérések is lehetnek a feltüntetett értékektől.

2.5. táblázat Jellemző (a) felszíni és légköri tulajdonságok, valamint (b) a városklíma paramétereinek megváltozása egy közepes földrajzi szélességen fekvő, kb. 1 millió lakosú nagyvárosban (a közölt értékek külön megjegyzés hiányában a nyári időszakra vonatkoznak) (Oke, 1997)

(a) Tulajdonság	Változás	Jellemző nagyságrendek
albedó	alacsonyabb	vidék: 0,12-0,20; külváros: 0,15; város: 0,14
emisszivitás	nagyobb?	vidék: 0,92-0,98; város: 0,94-0,96
antropogén hő	nagyobb	vidék: -; külváros: 15-50 Wm ⁻² ; város: 50-100 Wm ⁻² (téli 250 Wm ⁻² -ig)
kondenzációs magvak: Aitken felhő	nagyobb nagyobb	vidék: 10 ² -10 ³ cm ⁻³ ; város: 10 ⁴ -10 ⁶ cm ⁻³ vidék: 2-5×10 ² cm ⁻³ ; város: 10 ³ -10 ⁴ cm ⁻³
(b) Elem	Változás	Nagyságrendi változás vagy megjegyzés
turbulencia-intenzitás	nagyobb	10-50%
szélsebesség	csökken növekszik	5-30% a 10 m magasságú erős áramlásnál a hősziget hatására kialakuló gyenge áramlásnál
szélirány	eltérül	1-10°
tornádó	kevesebb	
UV-sugárzás	sokkal kevesebb	25-90%
napsugárzás	kevesebb	1-25%
hosszúhullámú besugárzás	nagyobb	5-40%
látótávolság	csökken	
párolgás	kisebb	kb. 50%
konvektív hőáramlás	nagyobb	kb. 50%
hőtárolás	nagyobb	kb. 200%
lég hőmérséklet	magasabb	1-3°C éves átlagban, de órás átlagban akár 12°C is
légnedvesség	alacsonyabb sokkal magasabb	nyáron nappal nyáron éjszaka és télen egész nap
felhőzet	több pára több felhő	a városban és a város szél mögötti részén a város lee-oldalán
köd	több vagy kevesebb	az aeroszoloaktól és a környezettől függ
csapadék: hó összes zivatarok	kevesebb több? több	egy része esővé válik inkább a város lee-oldalán, mint a városban

2.5. Az általános klímajellemzők

A város és környezete közötti klimatikus különbség - ahogyan már a hősziget esetében is szó volt róla - olyan napokon jelentkezik a legmarkánsabban, amikor a felszíni ki- és besugárzást semmi sem gátolja (pl. felhőzet) és a kialakult helyi klímák közötti különbségeket semmi sem mossa el, egyenlíti ki (pl. erős szél). Ekkor az eltérő felszíni adottságokkal rendelkező területek felett az azokra jellemző sajátos klímák zavartalanul kifejlődhetnek. A meteorológiai és légszennyeződési paraméterek napi menetében jelentkező különbségeket, a

napszakra jellemző fontosabb folyamatok tükrében egy átlagos nyári - a fentiek szerinti "ideális" - napon a 2.6. táblázat foglalja össze.

2.6. táblázat A város és környéke között kialakuló klimatikus különbségek átlagos napi jellemzői egy "ideális" nyári napon (Fezer, 1995)

Napszak	Folyamatok, változások	Szabad (természetes) terület	Város
éjszaka	<ul style="list-style-type: none"> - a hőmérséklet lassan csökken - az absz. nedvesség csökken - a relatív nedvesség ilyenkor a legmagasabb - a szél ilyenkor a felszín felett 100 m-rel a legerősebb - légnyomás - ózon 	<p>harmat vagy dér</p> <p>a talajközeli ilyenkor a alacsony kevés</p>	<p>a hősziget ilyenkor a legerősebb konstans</p> <p>légáramlás leggyakoribb kicsit nagyobb alig van</p>
	<ul style="list-style-type: none"> - a léghőmérsékletnek és a szélsébségnek minimuma van - a légnyomásnak másodlagos minimuma van - a CO₂ tartalom a legmagasabb, a talajmenti inverzió a legerősebb 	1 órával	a napfelkelte előtt
kora reggel	<ul style="list-style-type: none"> - gyakori a köd - a légnyomás 1-3 hPa-t emelkedik - a kisebb völgyekben megfordul a szél 	az abszolút nedvességnek másodlagos minimuma van	a köd ritkább az abszolút nedvesség konstans
	<ul style="list-style-type: none"> - a ki- és besugárzás kiegyenlítődik - kisebb légnyomási maximum 	napfelkelte után 1,5 órával	1,5-2 órával
késő reggel	<ul style="list-style-type: none"> - a napsugárzás és a hőmérséklet gyorsan emelkedik - a levegő semleges rétegzettségű - a köd feloszlik, a látástávolság javul - csak apró gomolyfelhők alkotják a felhőzetet - a 20-1000 km²-es területű völgyekben megfordul a szél - a szárazabb helyeken a transpiráció és a fotoszintézis a legerősebb - a levegő nedvességtartalma nő 		
	<ul style="list-style-type: none"> - a vízfelszínnek felett beindul a párasodás - az 1000 km²-nél nagyobb területű völgyekben és a partokon megfordul a szél - légnyomás-maximum 	a napfelkelte után	4-5 órával
délelőtt			

Napszak	Folyamatok, változások	Szabad (természetes) terület	Város
délelőtt (folyt.)	<ul style="list-style-type: none"> - a sugárzás és a hőmérséklet gyorsan nő - a meleg levegő feláramlása erősödik és magasabbra terjed ki, pollen-feláramlás - a termikek erőssége elegendő a vitorlázórepüléshez - a talajmenti szél felfrissül - a magaslégtörő szél gyengül - a levegő, ilyenkor a legszárazabb - a Nap a legerősebben süt - a keveredési réteg a legmagasabbra terjed ki 	12 óra	magasabb áramigény az SO ₂ szint maximuma
kora délután	<ul style="list-style-type: none"> - a vízfelszínnek és a vízenyősebb területeken lévő növényzet párologtatása ekkor a legerősebb - a légnyomás 1-2 hPa-t esik 	a gleccserolvadás ekkor a legerősebb	a külső felületek ekkor a legmelegebbek
	<ul style="list-style-type: none"> - a levegő lassan még melegszik - a gomolyfelhők ekkor a legvastagabbak - párás levegő, gyenge látástávolság - a helyi szelek ekkor a legintenzívebbek -ózonmaximum 	a talajközeli légáramlás	ekkor a legtrikább
		11.30 és 19.30 között plató	kb. 16 órákor csúcs
	<ul style="list-style-type: none"> - a levegő ekkor a legmelegebb 	15 óra	16 és 18 óra között
késő délután	<ul style="list-style-type: none"> - a köd és a szélcsend ekkor a legtrikább - a sugárzás és a párolgás alábbhagy - a hőmérséklet lassan csökken - a levegő viszonylag ekkor a legszárazabb - a gomolyfelhők feloszlanak, a látástávolság javul - az eső ekkor a leggyakoribb és a legerősebb - a termikek erőssége még elegendő a vitorlázórepüléshez - a pollenszint a legmagasabb - a CO₂ szintnek minimuma, az O₂ szintnek maximuma van ekkor - légnyomási minimum 	17 óra 17 órától naplementéig	15 és 20 óra között a belső terek a legmelegebbek
	<ul style="list-style-type: none"> - a ki- és besugárzás kiegyenlítődik - a levegő ekkor a legszárazabb 	kissé magasabb	alacsony
	<ul style="list-style-type: none"> - a ki- és besugárzás kiegyenlítődik - a levegő ekkor a legszárazabb 	1-2 órával a naplemente előtt	naplementekor
este	<ul style="list-style-type: none"> - a keleti lejtőkön és a völgyekben megkezdődik a hideg levegő leáramlása - a levegő elkezd lehűlni - talajmenti inverzió, naplementekor - a konvekció megszűnik, a keveredési réteg vastagsága - hegyiszele a nagyobb völgyekben 	gyorsan az első köd megjelenése	a hősziget erőteljesen növekszik
	<ul style="list-style-type: none"> - az abszolút nedvességnek ekkor másodmaximuma van - a légnyomásnak ekkor másodmaximuma van 	csak 20 m	lassan nincs köd
	<ul style="list-style-type: none"> - az abszolút nedvességnek ekkor másodmaximuma van - a légnyomásnak ekkor másodmaximuma van 	naplemente után 3 órával	magasabb por, CO, NO, NO ₂ konc. 1 órával a naplemente után a legnagyobb
éjjel	<ul style="list-style-type: none"> - a levegő lehűlése lassul 		télen ekkor legerősebb a hősziget

A városklímának az emberre irányuló hatásai összefoglalásképpen a következők: télen főleg a sugárzási, nyáron elsősorban a hőmérsékleti viszonyok megváltozása előnytelen, aminek megítélése természetesen függ attól is, hogy az adott város milyen szélességi körön, milyen klimatikus régióban fekszik. Hűvösebb területeken kifejezetten előnyös is lehet a hőmérséklet néhány fokos emelkedése. Majdnem egész évben kedvezőtlen a szélviszonyok alakulása, viszont a légnedvességbeli eltérések hatásai viszonylag csekélyek.

A városi levegőkörnyezetben a meteorológiai paraméterek megváltozásai a természetes körülményekhez képest - különösen milliós nagyvárosok esetében - több terhelő hatást válthatnak ki, ami ronthatja az itt élők komfortérzetét. Ezek a tények - önmagukban nézve - azonban még nem tekinthetők egyértelműen egészségkárosító hatásúaknak. Mindez azonban a levegőszennyezéssel párosulva - amely akár százezres nagyságrendű városok esetében is igen nagy lehet - már kimutatható egészségrombolást végez az élő szervezetekben. Parkosítással, a szennyező üzemek kitelepítésével, a fűtési struktúra átalakításával, a városrészek rekonstrukciójánál az előzetes éghajlati méréseredmények figyelembevételével, stb. az említett hátrányos, illetve káros hatások nagymértékben csökkenthetők vagy megszüntethetők. Elvértve már lehet is erre példát találni, amit talán legjobban a korábban sok problémát okozó londoni szmog eltüntetése illusztrál.

3. Kutatástörténet

3.1. A városklímakutatás rövid története

Az ókor óta ismert az a tény, hogy a városok levegőkörnyezete különbözik környezetükétől. Már *Hippokratész* (i.e. 5.sz.) utalt a város rossz levegőjére, amely szerinte az emberre nézve egészségkárosító hatású. Tehát az urbanizáció legkorábban felismert következménye a levegő összetételének megváltozása volt. A manufaktúrák megjelenése idején, főleg a hűvösebb régiók településein nyilvánvalóvá vált - főleg a faszenet felváltó nagymennyiségű kőszén elégetése következtében fellépő - légszennyeződés. Az angol *John Evelyn* 1661-ben így írt erről (*Kratzer*, 1956): "For when in all other places the air is most serene and pure, it is here eclipsed with a cloud of sulphur, as the sun itself, which gives day to all the world besides, is hardly able to penetrate and impart it here. The weary traveller at many miles distance, sooner smells than sees the city to which he repairs." ("Mert miközben mindenütt máshol az ég derült és a levegő tiszta, itt a világosságot hozó Napot elhomályosítja a kénből képződött felhő, amin a sugarak alig képesek áthatolni. A kimerült utazó még mielőtt meglátná úticélja városát, már több mérfölddel előbb megérzi annak szagát.") 1750-ben a London feletti füstreget már 100 km-ről is lehetett látni.

A tudományos meteorológia kezdetének a 17. század végét lehet tekinteni, amikor néhány helyen megkezdődtek a rendszeres, műszerekre alapozott észlelések. Ennek eredményeképpen a város és a környékének meteorológiai elemei között felismerhető különbségek jelentek meg a mért adatokban. 1783-ban a német *Deuer* Mannheimben a külváros és a botanikus kert között 6°C-os különbséget talált egy igen hideg téli éjszakán. A városi éghajlat alapvető jellegzetességeinek felismerése és az első városklímaleírás egy angol kémikusnak, *Luke Howard*-nak (1818) tulajdonítható, aki monográfiájában a londoni éghajlat és légszennyeződés sajátosságait tárgyalta. Maga a városklíma kifejezést elsőként a német *Adalbert Stifter* használta 1843-ban. A francia *Renou* 1862-ben Párizs példáján keresztül erősítette meg a város és környezete között fennálló hőmérsékleti kontraszt kialakulását. 1908-ban a német *Kremsner* berlini vizsgálatai során először állapította meg, hogy a légnedvesség és a szél is módosulásokat szenved.

Jelentős előrelépésnek számított az, amikor az osztrák *Wilhelm Schmidt* 1927-ben Bécsben autóra szerelhető műszerekkel többször átszelte a város különböző beépítettségű területeit, hogy összehasonlító adatokat gyűjtsön. Ez az eljárás, több városi és városkörnyéki állomás méréseivel kiegészítve, a mai napig is használatos módszer. A városklímáról az első nagy összefoglaló alapmű 1937-ben jelent meg a német *Albert Kratzer* benedekrendi apát révén, akit azóta ennek tiszteletére a "városklímatológia atyja" elnevezéssel is illetnek. A könyv bővített formában 1956-ban jelent meg újra.

Az elmúlt jó két és fél évtized kutatásaira a kanadai *Timothy R. Oke* munkássága van a legnagyobb hatással. Erre az időszakra az a jellemző, hogy egyre több modell készül, amelyek megpróbálják reprodukálni a város sokrétű sugárzási-energetikai viszonyait. Emellett magas tornyok, kikötött ballonok, lassan emelkedő rádiószondák és helikopterek felhasználásával a városi légtér meteorológiai paramétereinek függőleges eloszlásáról is gyűjtik az adatokat. A repülőgépes és műholdas infravörös sugárzásmérések is hasznos adalékkal járulnak hozzá az elemzésekhez. Mind nagyobb hangsúlyt kap a városlakók komfortérzetének vizsgálata is, tehát az, hogy az emberre mennyire jelent több vagy kevesebb megterhelést a meteorológiai paraméterek városi megváltozása - kombinálva a légszennyeződés mértékével - a különböző időjárási helyzetekben, évszakokban és napszakokban.

3.2. A hazai városklímakutatás vázlatos áttekintése

Magyarországon a rendszeres műszeres meteorológiai megfigyelések több mint két évszázada. 1779-ben kezdődtek meg Budán. Az itt létesített állomás akkor az első nemzetközi észlelőhálózat legkeletibb láncszeme volt. A budai, majd később a pesti éghajlatkutató állomások száma és profilja folyamatosan bővült, azonban számos állomás rövidebb-hosszabb idő után beszüntette működését. A főváros éghajlatának megismerése az észlelések anyagának feldolgozásával párhuzamosan haladt. Már a múlt században, valamint e század elején is készültek összefoglaló művek, ezeknek azonban ma már csak történelmi érdekességük van.

Az első nagyobb jelentőséggel bíró monográfia Budapest éghajlatáról, amely már hosszú észlelési sorozatra és egy sor klimatológiai részfeldolgozásra támaszkodott, Réthly (1947) jóvoltából jelent meg. Bőséges adatközlése folytán alapvető forrásmunkának számít még ma is. Néhány évvel később egy nagy földrajzi monográfia keretében Bacsó (1958) adott újabb átfogó szintézist a főváros és környéke éghajlati jellemzőiről. Ezek a munkák azonban még nem a mezométerű helyi (városi) különbségeket állították előtérbe, hanem egy állomás észlelési sorozatának sokrétű feldolgozásával rajzolták meg a főváros éghajlati képét. Ezzel alapot teremtettek a további, a területi különbségeket is bemutató városklimatológiai kutatások számára.

Az 50-es évek végétől a városklimatológia gyors fejlődésnek indult. Az előtérben természetesen Budapest éghajlatának tanulmányozása állt, hiszen Magyarországon ez jelentette a legfontosabb és egyben legbonyolultabb kutatási feladatot. A főváros területén a meteorológiai szolgálat 10-12 éghajlatkutató állomást üzemeltetett és 1964-70 között folyamatos észlelésekre került sor a belvárosban is. Nagy fejlődés mutatkozott a sugárzásmérések terén is, valamint létrejött a légszennyeződés változásait figyelemmel kísérő állomáshálózat is. A városi energiaegyenleg összetevői havonkénti és évi összegeinek első megbecslésére szintén Budapest esetében került sor (Probáld, 1971).

Az utóbbi évtizedek minden tekintetben legértékesebb, Budapest városklímájának sajátosságait szintetizáló, összefoglaló feldolgozása Probáld (1974) munkássága révén jelent meg. A beépítettség szempontjából jellegzetes városi területeken elhelyezkedő állomások adatait a városon kívül található, a városi hatásoktól nagyrészt mentes állomás adataival vette össze. Részletesen tárgyalta a város hatásait az energiaháztartásra, a hőmérsékletre, a szélviszonyokra, a csapadéokra, a légnedvességre, a látástávolságra és a ködre. Külön elemezte a városi légszennyeződés típusait, azok térbeli és időbeli eloszlását. A különböző éghajlati elemek változásait összességében vizsgálva, a viszonylag nagy területű (>500 km²) Budapest területén belül éghajlati körzeteket határolt le. Az eredmények értékelését megnehezítették a főváros domborzati viszonyai, amelyek révén - a városi hatástól függetlenül, illetve azokkal kombinálódva - szintén lokális klímák sora alakulhat ki.

Az 1971-75 közötti mérések eredményeit a 15 évvel korábbiakkal összehasonlítva, az eltelt idő alatti változások feltárása, valamint a hősziget intenzitásának a szélsébségtől és széliránytól való függésének kimutatása volt a következő munka célja (Miklósi, 1981). Mivel a városi hősziget kialakulása Budapest esetében várhatóan télen a legerőteljesebb, ezért a vizsgálat erre az időszakra terjedt ki. Az eredmények szerint 15 év alatt a hősziget intenzitásának mértéke kb. 30%-kal megnövekedett. Alacsony szélsébség esetén a hősziget erőssége jelentős volt, míg a mérsékelt szél ezt gyengítette. A szélirányok vizsgálatából az derült ki, hogy főleg a K-i és DNY-i szél mellett növekedett meg a hősziget intenzitása.

ÉNy-i áramlás esetén a belterület melegebb levegője a külterületi állomás felé mozog, ezért ekkor a két állomáson mért értékek közelebb kerültek egymáshoz.

Napjainkban a Budapest légszennyezettségével kapcsolatos kutatásokhoz és előrejelzésekhez szükséges adatokat az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat állomáshálózatának mérései szolgáltatják (Sándor és Baranka, 1993; Baranka, 1996). A mérőhálózatot 1978-ban telepítették és 1990-91-ben teljesen felújították. Ennek keretében 4-4 állomás található a belvárosban és a külső városrészekben. Az elhelyezésnél arra is ügyeltek, hogy minél több környezetiípust jellemezhessenek. Valamennyi állomáson mérik a nitrogén-oxidokat, a kén-dioxidot, a szén-monoxidot és a port, valamint a különböző meteorológiai paramétereket (szélirányt, szélesebséget, hőmérsékletet és a relatív nedvességet). Néhány állomáson a szénhidrogének és az ózon koncentrációját is észlelik. A monitorhálózat feladata kétirányú, amely szerint a rutinszerű levegőminőség ellenőrzés mellett ellátja a rendkívüli helyzetek megítélésére szolgáló méréseket is. Az előrejelzési eljárás a meteorológiai paraméterek folyamatos mérésén alapul, mivel az egyes paraméterek - az évszakoktól is függően - a különböző szennyezőanyagok koncentrációjára és területi eloszlására is jelentős hatással vannak.

A lényegesen kisebb lélekszámú Egerben, amely egy ÉNy-DK irányú völgyben helyezkedik el, 1983-ban kezdődtek el a mérések egy 9 állomásból álló hálózat keretében (Roncz, 1985). Az eredmények szerint a Bükk-hegység közelsége és a város völgyi helyzete miatt jellegzetes városklíma nem alakulhatott ki. A hőmérséklet városon belüli alakulásában megfigyelhető egy elkülönülés a város hosszszelvényében és egy különbség a K-Ny-i keresztmetszet mentén is. Enyhe hőmérsékleti többlet azonban kimutatható a belvárosban (télén 1,5°C, nyáron 0,5°C). Egyes időjárási helyzetekben (hideg, meleg betörés) erőteljesebb különbségek is kialakulnak, amelyre az a jellemző, hogy a város 1-2 napos késéssel veszi fel a környezete hőmérsékletét. A hegység szélárnyékoló hatása miatt a város déli területein több a csapadék, mint az északi részein.

Végezetül meg kell említeni a Debrecen éghajlatáról készült kiadványt is (Justyák és Tar, 1994), ami azonban témájában nem a város éghajlatának sajátos, a környezettől eltérő vonásait helyezte előtérbe. A szerzők az egyetemi meteorológiai állomás hosszú észlelési sorozatának feldolgozásával, a makroklíma vizsgálati módszereivel és nézőpontjából megközelítve rajzolták meg Debrecen éghajlati képét.

A szegedi városklímakutatás korábbi eredményeinek áttekintésére külön, az 5. fejezetben kerül sor.

3.3. A városklímakutatás néhány módszere

Annak a kérdésnek az eldöntésére, hogy milyen vizsgálati módszert kell vagy érdemes alkalmazni, először is azt kell tisztázni, hogy milyen nagyságú (léptékű) az a terület, vagy elem, amelynek az éghajlati sajátosságait elemezni szeretnénk. Attól is függően, hogy milyen klímáparamétereket kívánunk megfigyelni az adott területen, a szükséges eszközöket, a megfelelő méretarányokat és a hozzájuk tartozó felbontásokat a 3.1. táblázat foglalja össze.

3.1. táblázat A városklimakutatás területének nagysága, a vizsgálat tárgya és az ehhez kapcsolódó eszközök jellege, valamint a felbontás és a méretarány (Fezer, 1995)

	város és vonzáskörzete	város	városnegyed	épület(tömb), utca, udvar	fal, ablak
klímaelem	köd és felhőzet, csapadék	hősziget	szélmező	kitettség, bioklíma	energiaáramlás, szellőztetés
állomások	meteorológiai szolgálat, állandó állomások	állandó és	időleges	hálózat	
felszíni jármű	városi vonat	gépkocsi	kerékpár	gyalog	
repülő jármű	műhold	repülőgép	helikopter	kikötött ballon	
felbontás (m)	200	25	10	2,5	0,1
méretarány	1:250 000	1:25 000	1:5000	1:1000	1:100

4. A szegedi régió földrajzi és éghajlati adottságai

4.1. Földrajzi fekvés

A terület természeti földrajzi szempontból az Alsó-Tiszavidékhez tartozik (Frisnyák et al., 1978). Magyarország legalacsonyabban fekvő régiójáról van szó, tengerszint feletti magassága alig változik, 78 és 85 m között "ingadozik".

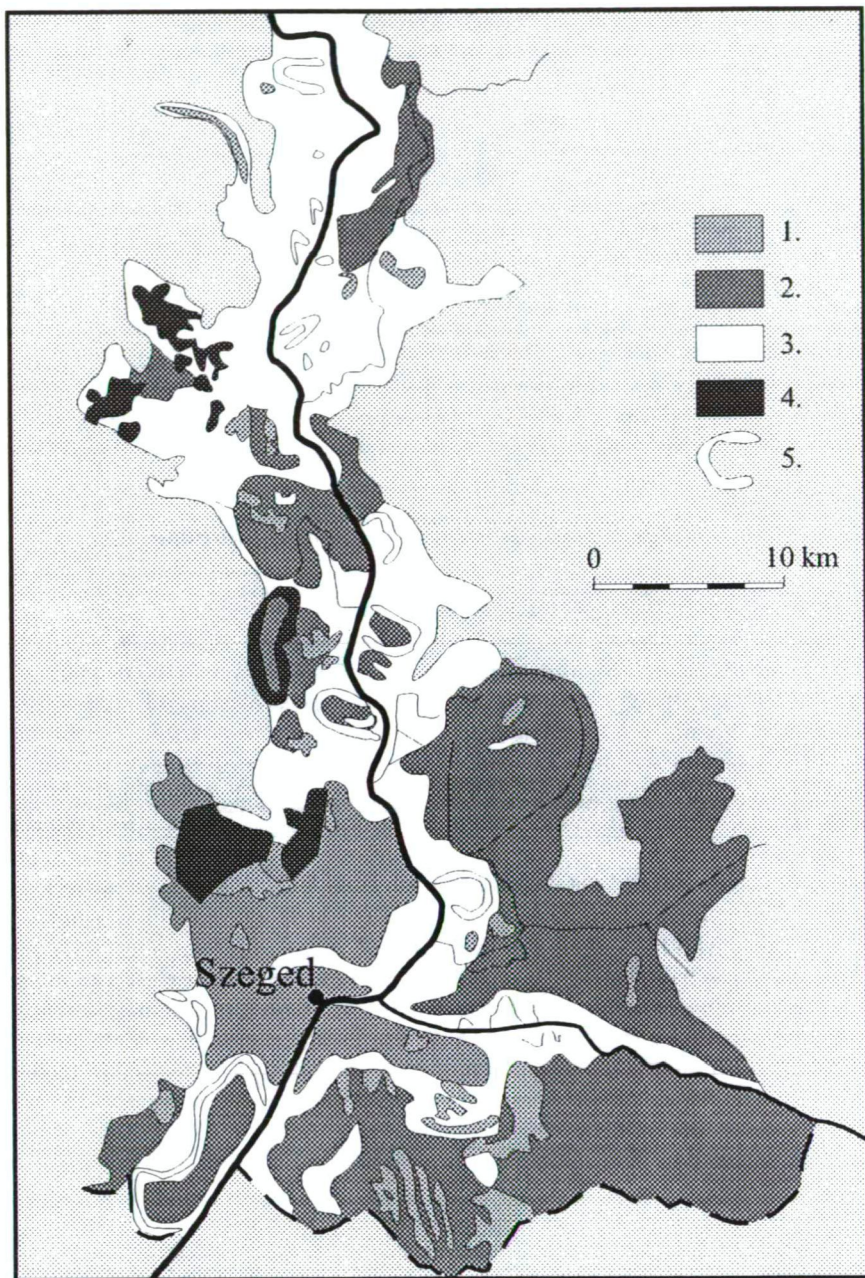
A vidék kialakításában a harmadkortól napjainkig tartó süllyedés és a feltöltés játszott vezető szerepet. A történeti korok során a kristályos alaphegységre 3000-3800 m vastag üledék rakódott rá. A felszínen - néhány pleisztocén löszhalomtól eltekintve - holocén üledékek (folyóvízi homok, iszapos homok, agyagos iszap és réti agyag) a jellemzők. A Tisza alacsony- és magas árterei jól elkülönülnek (Mezősi, 1983). A tájképi sajátosságokat az álló- és folyóvízi, valamint az colikus formák adják, így pl. az alluvialis síkságból eróziós peremmel emelkednek ki a löszhalmok. Ezek infúziós és típusos löszből épülnek fel. A Tisza és a Maros folyók mellékét holtágak és morotva-tavak teszik változatossá (4.1. ábra).

Az ősi növényzet maradványait a folyók menti ligeterdők, valamint a morotvák hínár- és mocsárvegetációi képviselik. Viszonylag nagy területeket foglalnak el a szikesek és a mocsárrétek. A talajok közül a réti öntéstalaj és a réti csernozjom a leggyakoribbak (Kevei-né Bárány, 1988).

4.2. Éghajlati jellemzők

Szeged tágabb környékének éghajlati jellemzésére azért van szükség, mert feltétlenül ismerni kell azt, hogy a város módosító hatása milyen természetes (háttér)klímába ágyazódik bele, vagyis milyen természetes éghajlat paramétereit változtatja meg kisebb-nagyobb mértékben.

A globális, nagyléptékű éghajlati felosztást tekintve, Magyarország nagyobbik része - így a tárgyalt térség is - a Köppen-féle *Cf* (meleg-mérsékelt éghajlat, egyenletes évi csapadékeloszlással), vagy más felosztás szerint a Trewartha-féle *D. I* (kontinentális éghajlat,



4.1. ábra Az Alsó-Tiszavidék morfológiai térképe: 1 = pleisztocén kori löszből képződött kiemelkedések az ártérben, 2 = óholocénban feltöltődött gyenge relieffel rendelkező térszín, 3 = fiatal öntések térszíne, 4 = állóvizek, 5 = meanderek és morotvák (Frisnyák et al., 1978)

hosszabb meleg évszakkal) klímaövezetbe tartozik. Az országban belüli finomabb körzetekre bontáshoz más osztályozási módszert kell alkalmazni, amit a víz- és energiaellátottság különbségeinek figyelembevételével lehet megoldani (Péczely, 1979).

A vízellátottság mérésére a

$$H = E_s / LC$$

ariditási index alkalmas, ahol E_s ($\text{MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$) a sugárzási egyenleg, L (MJkg^{-1}) a párolgási hő és C (mm) a csapadékot jelenti. Ha a sugárzási egyenleg országban belüli igen kis mértékű változásától eltérünk, akkor az egységiesen elfogadható $1760 \text{ MJm}^{-2}\text{év}^{-1}$ értéket figyelembe véve a

$$H = 1760/2,5C$$

kifejezés adódik, amelybe csak a csapadék évi összegét kell behelyettesíteni az ariditási index kiszámításához. Az éghajlati körzetek kijelölésénél a következő fokozatokat alkalmazták:

nedves	- $H < 0,85$
mérsékelt nedves	- $0,85 < H < 1$
mérsékelt száraz	- $1 < H < 1,15$
száraz	- $1,15 < H$

Az energia- vagy hőtényezőt a vegetációs időszak (április-szeptember) átlagos hőmérséklete (t_v) alapján lehet mérlegelni. Itt a kategóriák a következők:

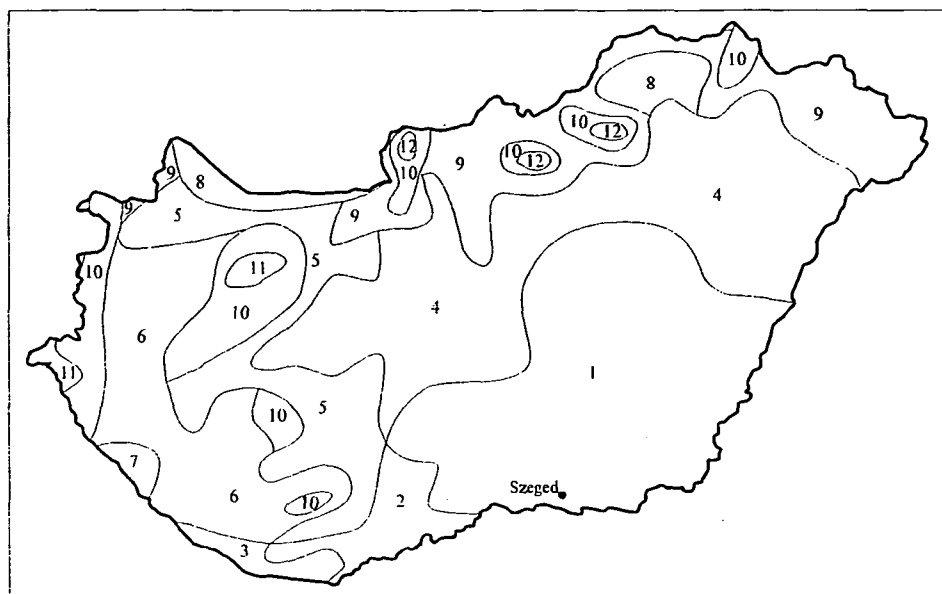
meleg	- $17,5^\circ\text{C} < t_v$
mérsékelt meleg	- $16,5^\circ\text{C} < t_v < 17,5^\circ\text{C}$
mérsékelt hűvös	- $15,0^\circ\text{C} < t_v < 16,5^\circ\text{C}$
hűvös	- $t_v < 15,0^\circ\text{C}$

A két tényező elméletileg lehetséges 16 kombinációjából (éghajlati körzet) 12 realizálódik hazánk területén. Ezek a következők (Péczely, 1979):

- | | |
|---------------------------------------|--|
| 1. meleg – száraz | 7. mérsékelt meleg – nedves |
| 2. meleg – mérsékelt száraz | 8. mérsékelt hűvös – nedves |
| 3. meleg – mérsékelt nedves | 9. mérsékelt hűvös – száraz |
| 4. mérsékelt meleg – száraz | 10. mérsékelt hűvös – mérsékelt száraz |
| 5. mérsékelt meleg – mérsékelt száraz | 11. mérsékelt hűvös – mérsékelt nedves |
| 6. mérsékelt meleg – mérsékelt nedves | 12. hűvös – nedves |

A körzetek földrajzi elhelyezkedésére az a jellemző (4.2. ábra), hogy az ország legnagyobb részén, főleg az alföldi területeken meleg-száraz és mérsékelt meleg-száraz éghajlat uralkodik. Szegedre és környékére határozottan a *meleg-száraz* klíma jellemző, vagyis a nyár meleg, aszályra hajlamos, bőséges a napfénytartam, aránylag kicsi a páratartalom és a felhőzet, télen kevés a hócsapadék, emiatt vékony a hótakaró.

Tájékoztatósképpen a vizsgált térség átlagos havi és évi éghajlati adatait a 4.1. táblázat tartalmazza.



4.2. ábra Magyarország éghajlati körzetei (a számok magyarázata a szövegben) (Péczy, 1979)

4.1. táblázat Szeged térségének havi és évi éghajlati átlagértékei (Péczy, 1979, 1984)

	J	F	M	A	M	J	J	A	Sz	O	N	D	év
globális sugárzás (MJm^{-2})	114	177	325	456	594	635	655	567	410	273	122	83	4411
napfénytartam (h)	64	90	143	187	258	271	309	286	211	152	79	52	2102
felhőzet (%)	71	65	59	59	53	51	42	39	42	54	69	75	57
szélsebesség (m/s)	3,3	3,4	4,0	3,7	3,2	2,9	2,9	2,7	2,6	3,0	3,0	3,7	3,2
léghőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	-1,2	0,6	6,3	11,4	16,8	20,0	22,4	21,4	17,5	11,9	5,9	1,4	11,2
maximumhőm. ($^{\circ}\text{C}$)	1,7	4,1	10,9	16,7	22,4	25,3	28,0	27,0	22,7	16,8	9,0	3,9	
minimumhőm. ($^{\circ}\text{C}$)	-4,4	-3,0	1,6	6,2	11,4	14,7	16,5	15,6	12,0	7,1	2,4	-1,0	
napi hőm. ingás ($^{\circ}\text{C}$)	6,1	7,1	10,3	10,5	11,0	10,6	11,5	11,4	10,7	9,7	6,6	4,9	
párányomás (hPa)	5,1	5,3	6,7	8,6	12,0	14,5	15,2	14,6	12,6	10,1	7,7	6,0	9,8
relatív nedv. (%)	83	79	73	66	64	62	58	59	65	73	82	84	71
csapadék (mm)	32	34	38	49	61	68	51	48	47	52	52	41	573

5. Szeged városklímája

5.1. A szegedi városklimakutatás korábbi eredményei

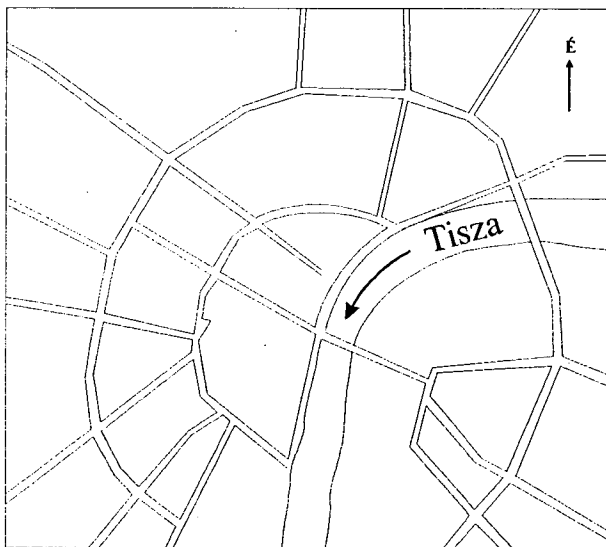
Hazai nagyvárosaink a felszíni elhelyezkedésük szerint három orográfiai tájtípusba sorolhatók. Ezek a következők:

- völgyben fekvő,
- hegyvidék és síkság találkozásánál lévő,
- síksági felszínen fekvő.

Az első két eset a városklíma kifejlődésének bonyolultabb típusát jelenti, mivel ezeknél a mesterséges hatások érvényesülését, azok felismerését nagyban zavarják a változatos orográfiai viszonyok. Az ideális városi éghajlat kialakulására a domborzat (és a nagy víztömeg) hatásaitól mentes, tehát a síksági nagyvárosok a legmegfelelőbbek. Az általánosítható törvényszerűségek levonására az ilyen városok részletes klimatikus felmérése és az eredmények sokoldalú feldolgozása szolgáltathatja a legjobb alapot. A városfejlesztés távlati terveinek tudományos megalapozása mellett ez is indokolja Szeged város éghajlatának feltárását.

A város éghajlatmódosító hatásainak értelmezésénél figyelembe kell venni Szeged szerkezeti alapadottságait, amelynek a - múlt század végi - újjáépítésből adódó sajátosságát a Tisza folyóra, mint tengelyre épült sugárutas-körutas rendszer adja. Ennek a struktúrának az az előnye, hogy a városszerkezet jól áttekinthető tagozódást mutat, hátránya, hogy így a forgalom a városmag felé koncentráliódik, amely maga után vonja az ezzel járó fokozottabb belterületi légszennyeződést is (5.1. ábra).

A város főbb ipartelepei az északnyugati területeken helyezkednek el, ami azt jelenti, hogy az ipari eredetű légszennyeződést az uralkodó északias és nyugatias áramlások - az úthálózat irányítottsága és a tiszavölgyi csatorna feltételezhető szívóhatása miatt is - éppen a városközpont felé viszik.



5.1. ábra Szeged belső városszerkezetének vázlata

Az utóbbi években, évtizedekben (főleg 1968-78, kisebb mértékben 1978-88 között) a város szerkezete jelentősen módosult a peremvárosi területeken létesült hatalmas méretű panelépítésű lakótelepek következtében. Ezeknek a lakótelepeknek a létrehozása sajátos szerkezeti tagoltságot visz a városi morfétextúrába amiatt, hogy a néhány emeletes házzal sűrűn beépített centrum és a viszonylag új lakótelepek nagy vertikális kiterjedésű, de lazább elhelyezésű épületei között megmaradt egy ala-

csonyszintű, sok zöldterülettel és kerttel rendelkező vegyes városrész. Ez a terület korábban fokozatos átmenetet jelentett a sűrű beépítésű városmag és a beépítetlen szabad területek között.

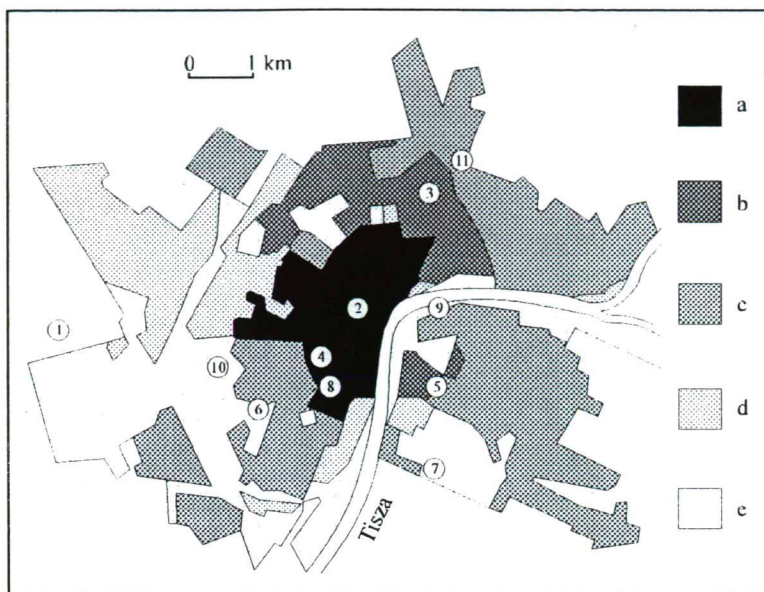
A továbbiakban az eddig megjelent, vagy a még mindig kéziratban lévő értekezések, publikációk felhasználásával tekintem át a szegedi városklímakutatás napjainkban immár három évtizedes múltra visszavezethető történetét és eddigi eredményeit.

Az első vizsgálódás (*Jantos*, 1967) a város belső és külső területeinek hőmérsékleti eltéréseit tárgyalta két állomás 15 éves (1951-65) adatsora alapján. A belterületet reprezentáló állomás a JATE Éghajlattani Tanszékének tetőteraszán, míg a külterületet képviselő a várostól nyugatra elterülő repülőtéren volt. Megállapításai szerint reggel 7h-kor a legnagyobb átlagos különbség ($1,5^{\circ}\text{C}$) júliusban, 14h-kor ($0,9^{\circ}\text{C}$) szeptemberben és 21h-kor ($2,3^{\circ}\text{C}$) augusztusban volt a belterület javára. A többi hónap esetében is az a jellemző, hogy a legnagyobb eltérések 21h-kor, a legkisebbek - esetenként negatív értékek - 14h-kor mutatathatók ki a város javára. A havi hőmérsékleti átlagok összehasonlításánál is a nyári hónapokban jelentkeztek a legnagyobb - 1°C -ot meghaladó - eltérések. A szélsőértékek vizsgálatakor a havi közepes maximumoknál jelentős hőmérsékleti többlet mutatkozott a belterületen, ami júliusban a 2°C -ot is meghaladta. A havi minimumoknál a különbség még nagyobbak adódott. Az eltérés a zord (téli) napok (11,5 és 9) és a hőségnapok (22 és 26) éves számának vizsgálatakor is jelentkezett.

1973 május-júniusában a tanszék kezdeményezésére egy - akkor még újnak számító - lakótelep (Tarján) és egy viszonylag régebbi (Odessza) helyi éghajlati sajátosságait mérték fel egy 1 hónapos méréssorozattal, majd az eredményeket ugyancsak a repülőtéri állomás adataival vetették össze. A kevés rendelkezésre álló információ miatt csak annyit lehet megállapítani, hogy a legnagyobb hőmérsékleti többlet az éjszakai, hajnali órákban mutatkozott. Nappal a jobban fásított lakótelep (Odessza) léghőmérséklete jelentősen eltért - átlagosan $1,5^{\circ}\text{C}$ -kal bizonyult hűvösebbnek - a szinte kopár Tarján-városrészétől. Ez egyértelműen a városi fásítás kedvező éghajlati hatását bizonyítja, amely éppen a legmelegebb napszakban csökkenti az ott lakók hőterhelését (*Probáld*, 1976).

A következő munka egy doktori disszertáció (*Sindely*, 1978), amely az 1967-71 közötti évek hőmérsékleti és légnedvességi adatait használta fel a repülőtér melletti Aerológiai Observatórium és az Ady téri észlelőhely esetében, hogy e két meteorológiai elem esetében kimutassa a város módosító hatását. Eredményei szerint éves viszonylatban a városi állomás hőmérsékleti minimumai $1,6^{\circ}\text{C}$ -kal voltak magasabbak a külterületen mérteknél, míg a maximumok különbségei sokkal kisebbnek adódtak, és az év folyamán kiegyenlítődtek. A hőmérsékleti többlet napi járásában nyáron (1978. július) a maximum éjjel 1h-kor jelentkezett, átlagosan $1,4^{\circ}\text{C}$ -ot ért el. Télen (1978. január) a legnagyobb eltérés (1°C) reggel 7h-kor volt. A 13 órai relatív nedvességek különbségei szerint a város csak télen, kora tavasszal és nyár végén szárazabb, mint környezete. A párányomás értékeinél csak jelentéktelen különbségek mutatkoztak.

A város éghajlatmódosító hatásait feltárni hivatott, 10 egységből álló városklímahálózat - amelynek létrehozásában a néhai *Péczely György* professzor elvülhetetlen érdemeit szerzett - 1977 júniusában kezdte meg működését (5.2. ábra). A Magyarország vidéki városainak viszonylatában máig is egyedülálló állomáshálózat Szeged városmorfológiailag különböző pontjairól folyamatosan gyűjtött napi három (esetenként négy) terminusban történő észlelésekkel léghőmérséklet és légnedvesség, minimum- és maximumhőmérséklet, valamint csapadék adatokat az 1981 elején történt megszűnéséig. A mérési adatok így három olyan évet (1978-80) ölelnek fel, amelyeknek gyakorlatilag teljes az adatsora.



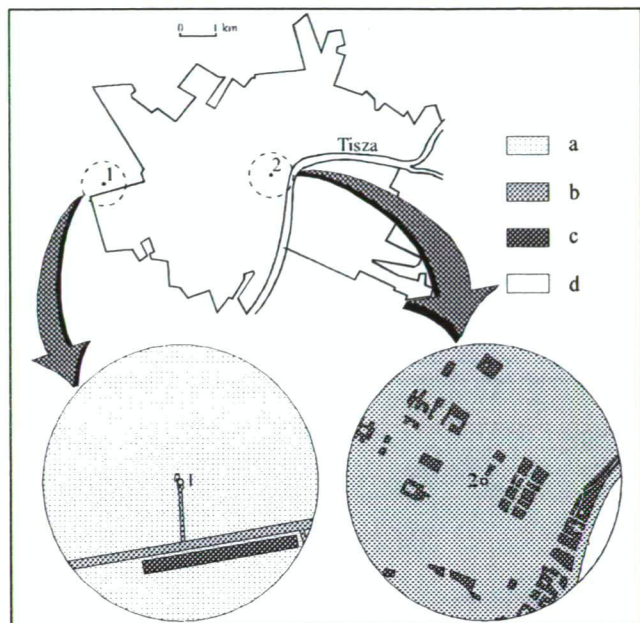
5.2. ábra Szeged városklímahálózata és fő városmorfológiai típusai (a - belváros (2-4 emeletes épületek), b - panelépítésű lakótelepek (5-10 emeletes házak), c - kertesi családi házak (1-2 emeletes épületek), d - ipari területek, e - zöld területek)

3. állomás az 5-10 emeletes, panelos technológiával épített Tarján városrészben volt elhelyezve. A 4. állomás az Ady téren, az egyetem háromemeletes DNY-i kitettséű szárnya mellett helyezkedett el és a hagyományos építészeti eljárással készült többszintes épületekkel övezett utcák éghajlatáról szolgáltatott információkat. Az 5. állomást Újszegeden, a Gyermekkorház forgalmas utakkal övezett parkos kertjében állították fel. A 6. állomás a város DNY-i részén, haszonnövényekkel beültetett kertvárosi részre, a 7. állomás a város DK-i peremén a Fűvészkert ligetes, dús növényzettel borított területre került. A 8. állomás a Bécsi körúton, a városmag és a kertesi családiházak öve közötti határterületen volt. A 9. állomást a Tiszához közel, az ATIVIZIG Mederőrtelépén helyezték el. A 10. állomás a Sancer-tó partjára került, adatai a tó és a partmenti - természetes növényzettel borított - terület viszonyait tükrözték. A 11. állomás a város ÉK-i részén - a Petőfi-telepen - az egy-kétszintes kertesi családiházak övezetét reprezentálta.

A város klímamódosító hatásait legszembetűnőbben a természetes háttérkörnyezetet és az erősen urbanizált belvárost képviselő két kiválasztott állomás hőmérsékleti soraiban lévő különbségek tükrözik vissza. Ezért érdemes bemutatni a klímaállomások körül a felszín milyenségének, beépítettségének sajátosságait. A mérési hely közvetlen környezetének jellemzésére általában egy 0,5-1 km közötti sugarú körterületet szokás választani (Oke et al., 1992). Esetünkben egy-egy 0,6 km sugarú kör tűnt optimálisnak a város méreteihez képest, amelynek átlagos átmérője kelet-nyugati irányban kb. 10 km, míg észak-déli irányban kb. 8 km.

Az 5.3. ábra szerint az 1. számmal jelölt külterületi állomás (OMSZ Aerológiai Observatórium) körül, eltekintve az állomás két kis épületétől és egy kis útburkolattól, gyakorlatilag csak mezőgazdasági - főleg búza és kukorica - földek vannak, míg a belvárosi 2.

A városi hatásoktól mentes háttérállomást (referenciaállomás) (1.) az Országos Meteorológiai Szolgálat Aerológiai Observatóriuma képviseli, amely a várostól nyugati irányban, a repülőtér mellett fekszik. A 2. állomást a városközpontba - zárt, többszintes (2-4) épületekkel határolt, szilárd burkolatú térre, - az akkori Napsugár-bisztró mellé telepítették. A két hely között légvonalban 4,4 km a távolság. A



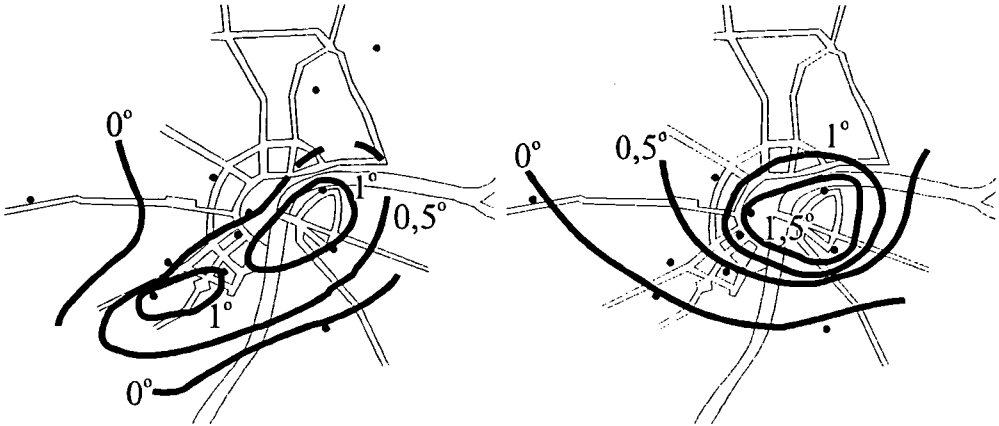
5.3. ábra A külterületi és a belvárosi klímaállomás elhelyezkedése Szegeden és a környezetük beépítettségi típusai: a - szántó, b - burkolt felület (úttest, járda, épület), c - zöldterület, d - vízfelület

tánál azonban nem rajzolódott ki ilyen karakterisztikus kép. A relatív nedvességi adatok szerint a város minden hónapban szárazabbnak bizonyult környezeténél, a legalacsonyabb értékek a külterülethez viszonyítva szeptemberben és októberben (-6,4% és -7,0%) jelentkeztek, a hőmérsékleti többlettel negatív szinkronban. A párányomás értékeiben jelentéktelen volt a változás. A dolgozat a továbbiakban a fent említett mérőhálózat 8 állomásának 1978. évi havi közepes maximum- és minimumhőmérsékleteinek a referenciaállomás értékeitől való eltéréseit vizsgálta meg annak feltárására, hogy a város mely részei vannak leginkább kitéve a város melegítő hatásának. A hőtöbblet nyáron rajzolódott ki legmarkánsabban, a különbségek izotermái a városközpont felé sűrűsödtek. A téli értékekben már nem volt olyan nagy a különbség (5.4. ábra).

A mérőhálózat adatainak szélesebbkörű felhasználásával Károssy és Gyarmati (1980) az 1977-79 közötti évek derült, advekciónmentes napjain regisztrált minimum- és maximumhőmérsékleteket dolgozták fel. 123 ilyen nap adódott a vizsgált időszakban, amelyek - a makroszinoptikus helyzetek kiértékelése szerint - mind anticiklonális időjárási helyzetekhez kapcsolódtak. A napok adatait évszakonként csoportosítva megrajzolták a minimum- és maximumhőmérsékleti különbségek eloszlásának izotermikus rendszerét. A napi maximumeltérések átlaga télen rajzolódott ki leghatározottabban, a belvárosban 2°C feletti többlettel. A minimumok esetében is a tél volt a legkarakterisztikusabb, még hozzá 3°C feletti belvárosi értékekkel (5.5. ábra).

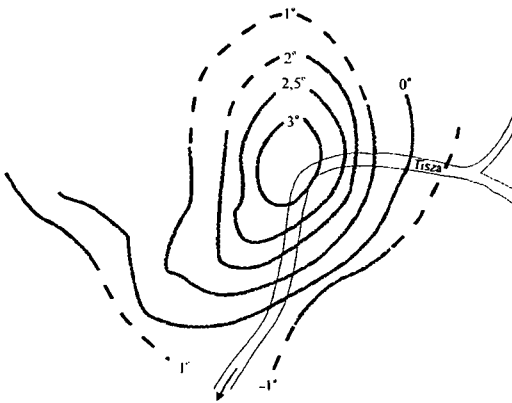
számmal jelölt állomás környezete sűrű beépítésű és nagyrészt burkolt felület, amelyet csak időnként szakít meg a parkok vagy a folyópart zöldje, illetve a Tisza vízfelülete.

Az időrendi sorrendben következő elemzés eredményeit egy szakdolgozat foglalja össze (Vámos, 1979), amely részben ismét csak a repülőtéri és az Ady téri állomás 1962-71 között mért hőmérséklet és légnedvességi értékeket dolgozta fel. Az eredmények szerint a város melegítő hatása a nyári és őszi hónapokban érvényesült leginkább, a havi átlagok esetében augusztusban és októberben volt a legerősebb (0,86°C és 0,89°C), míg a havi közepes minimumok esetében szintén augusztusban (1,58°C) volt a legnagyobb az eltérés. A havi közepes maximumok vizsgálata-



5.4. ábra A közepes téli (1978. jan.-márc.) és nyári (1978. jún.-aug.) minimumhőmérsékleti különbségek eloszlásának izotermái (Vámos, 1978)

A következő szakdolgozat (Gyarmati, 1981) további következtetéseket is levont a városklímahálózat 1977 és 1979 közötti adatsorából. Eszerint az advekciós napok évszakonként csoportosított napi maximum- és minimumhőmérsékleti különbségeit megvizsgálva, a város és a környező területek eltérése sehol sem érte el az 1°C -ot. Ezért megállapítható, hogy advekciós napokon gyakorlatilag biztosított a város átszellőzöttsége. A város szárazságát advekciómentes napokon a 13h-kor regisztrált relatív nedvességtértek különbségeinek segítségével három városi állomás esetében kiértékelve az adódott, hogy egyöntetűen mind a négy évszakban csak a belvárosban lévő Ady téri állomásnál mutathatók ki a külterületnél alacsonyabb értékek.



5.5. ábra A városi állomások és a repülőtér közötti minimumhőmérséklet eltéréseinek izotermikus rendszere télen (Károssy és Gyarmati, 1980)

Pelle (1983) tanulmánya egy általános áttekintés után Károssy és Gyarmati (1980) eredményeit és ábráit tárgyalta. Majd - egy esettanulmány keretében - az 1978. február 19-i hidegbetörésnek a minimumhőmérsékletekre történő hatását vizsgálta a repülőtéri és a városi állomás adatainak eltérései alapján. Február 19-22. között naponta ábrázolta ezeknek az eltéréseknek a területi eloszlását. 19-én még átlagosnak tekinthető különbség volt, ami 20-án erősen megnövekedett (a belvárosban elérte a $8,3^{\circ}\text{C}$ -ot!), majd 21-én és 22-én fokozatosan lecsökkent. Tehát a város jókora késéssel vette fel a környezete hőmérsékletét, ami bioklimatológiai szempontból kedvezőnek tekinthető. Eb-

ből is látható, hogy bizonyos időjárási helyzetekben egészen markáns különbségek is kialakulhatnak a város és környezete között.

Egy másik, ugyanebben az évben készült dolgozat (Zsiga, 1983) a város szerkezeti-morfológiai típusait tárgyalta (5.6. ábra). Az összes DK-alföldi város közül Szeged nagyvá-

rosi formacsoportja a legnagyobb, és benne funkcionális tagozódás is észrevehető: nagyvárosi üzletnegyed, hivatalnegyed, egyetemi negyed és lakónegyed. A kisvárosi formacsoport nehezen választható le a nagyvárosiról, ugyanis itt még elég magas az emeletes házak aránya. Ez a formacsoport is viszonylag nagy területet foglal el. Az előzőekkel megegyező nagyságrenddel és jelentőséggel szerepelnek a panelépítésű lakótelepi formacsoportok. Elhelyezkedésükre jellemző, hogy nem a városmag közelében, hanem attól távol, a régi félagrár övbe települtek. Legnagyobb területű a várost körülölelő kertvárosi formacsoport, amelynek megkülönböztethetőek a várost körbevevő árvízvédelmi töltésen belüli és kívüli részei is. A falusi formacsoport csak foltokban képviselteti magát. A szerző jó egyezést talált a napi maximum- és minimumhőmérsékleti eltérések téli területi eloszlása és a városmorfológiai típusok között.



5.6. ábra Szeged morfológiai térképe és a városi napi minimumhőmérsékletek eltérései a repülőtérén mért értékektől télen (°C)
(1 - nagyvárosi, 2 - lakótelepi, 3 - kisvárosi, 4 - kertvárosi, 5 - falusi formatípus) (Zsiga, 1983)

Egy öt évvel későbbi tanulmány (Zsiga, 1988) a szélirányok városon belüli módosulásával foglalkozott. A szegedi egyetem tetőteraszán 1931-40 között mért szélirány-gyakoriságok eloszlása a belvárost reprezentálta, míg a repülőtér mellé kihelyezett meteorológiai állomáson 1971-80 között mért adatok a beépítettség zavaró tényezőitől mentes külterületeket képviselték. Az átlagos havi, évszakos és éves adatok azt mutatták, hogy a belterületen az ÉNY-DK-i szélirány, míg a külterületen az É-D-i szélirány a gyakoribb. A következtetés az, hogy a belvárosi állomás szélviszonyai a beépítettségtől függenek, azzal kölcsönhatásban alakulnak ki.

A hetvenes évek végén a városklímahálózat mérései révén hatalmas mennyiségű észlelési adat gyűlt össze a város klimatikus jellemzőiről. Mivel ezeknek az adatoknak csak töredék részét dolgozták fel a kilencvenes évek kezdetéig, szükségessé vált e nagy értékű adathalmaz további, minél több szempont szerinti részletes kiértékelése.

A korábbi megállapítások már utaltak rá, hogy a város elhelyezkedése különösen kedvező a tipikus, "szabályos" városklíma kifejlődése szempontjából, mivel területe és környéke mentes az orográfiai hatásoktól és a nagysága is (178 000 lakos kb. 46 km²-es beépített területen) elegendő ahhoz, hogy éghajlatmódosító hatása ne csak kis területre és rövid időtartamra vonatkozzon.

A továbbiakban bemutatom a rendelkezésre álló hatalmas adatmennyiség (léghőmérséklet és légnedvesség, valamint kismértékben a szél) közel teljes feldolgozásának eredményeit. Természetesen csak azoknak a meteorológiai paramétereknek a módosulása, s ezen

módosulások időbeli és térbeli változékonysága elemezhető, amely paramétereket a hálózat legtöbb állomásán mértek, és így az adatok rendelkezésre állnak.

A vizsgálat során alkalmazott adatbázis, módszerek és számítási eljárások bemutatására mindig az adott részfeldolgozás előtt kerül sor, majd ezt követi a kapott eredmények tárgyalása az okok lehetséges magyarázataival.

5.2. A városi hőtöbblet évszakos rendszere derült, advekciónélmentes napokon

Először az 1978 és 1980 közötti időszak napsütéses és gyengén szeles időjárás helyzettől jellemzett napjait vizsgálom, ugyanis a városi hőmérsékleti többlet megjelenése várhatóan ilyenkor a legmarkánsabb. Szeles, felhős időben a hősziget intenzitása gyengül és a hőmérsékleti különbség teljes elmosódásához szükséges szél erőssége leginkább a város nagyságának (lakosságának) a függvénye. Ezt a kritikus v szélebséget a

$$v = 3,411gP - 11,6 \text{ [m/s]}$$

empirikus képlet adja meg (Oke and Hannell, 1970), ahol P a település lakóinak számát jelenti. Szeged esetében ez kritikus szélebség $v = 6,2$ m/s-nak adódott (Károly és Gyarmati, 1980).

A fentiek figyelembevételével a vizsgált 3 év azon napjai kerültek kiválasztásra, amelyeken az átlagos felhőzet 3 okta és az átlagos szélebség 5 m/s alatt volt (tehát ne legyen túl nagy felhőzet és a szél se fújja el a hőszigetet) (5.1. táblázat).

A táblázat adataiból látszik (zárójellel jelölve), hogy az adott szempontoknak megfelelő napok nagyon gyakran egymást követően jelentkeznek, ami nyilván az ilyen - a helyi, városi klíma kialakulásának szempontjából kedvező - időjárás helyzetek hosszabb ideig tartó fennmaradására utal.

A kiválasztott napokat (évszakonként csoportosítva) az összes napok számához viszonyítva szembetűnő eltérések mutatkoznak az évszakos relatív gyakoriság összehasonlításakor (5.2. táblázat). Ez főleg azzal hozható összefüggésbe, hogy általában a nyár a legkevesebb, a tél a legerősebben, míg az átmeneti évszakok közepesen felhősek. Télen viszont a szél gyengébb, mint a nyári hónapokban, ami azt mutatja, hogy a szélerősség egy kicsit alárendeltebb szerepet játszik a fenti kiválasztásnak megfelelő napok kiválasztásánál. A táblázatból látható, hogy a városi hősziget kifejlődéséhez kedvező időjárás helyzetek a leggyakoribbak nyáron (40,9%), tavasszal és ősszel már jóval kevesebbszer jelentkeznek (21% és 26%), míg télen már meglehetősen ritkák (13,3%).

A városkörnyéki háttérállomás és a városi hálózat mind a 10 állomásán (5.2. ábra) a kiválasztott napokon a 07, 13 és 19 órákor regisztrált hőmérsékleti adatokból a napi hőmérsékleti közepek, majd ezek felhasználásával és megfelelő csoportosításával a 3 év évszakos átlagai kerültek kiszámításra. A városi állomások évszakos átlagaiból levonva a városkörnyéki állomás megfelelő átlagait, a kapott különbségek térképen ábrázolhatók, s megrajzolhatók az átlagos - külterülethez viszonyított - hőmérsékleti többlet (főleg pozitív) izovonalai, amelyek az eltérések területi rendszerét mutatják. Ennek segítségével kimutatható, hogy a város különböző morfológiai típusainak mekkora a hőmérsékletemelő hatása évszakonként.

5.1. táblázat Az advekciómentes napsütéses napok dátumai (1978-80)

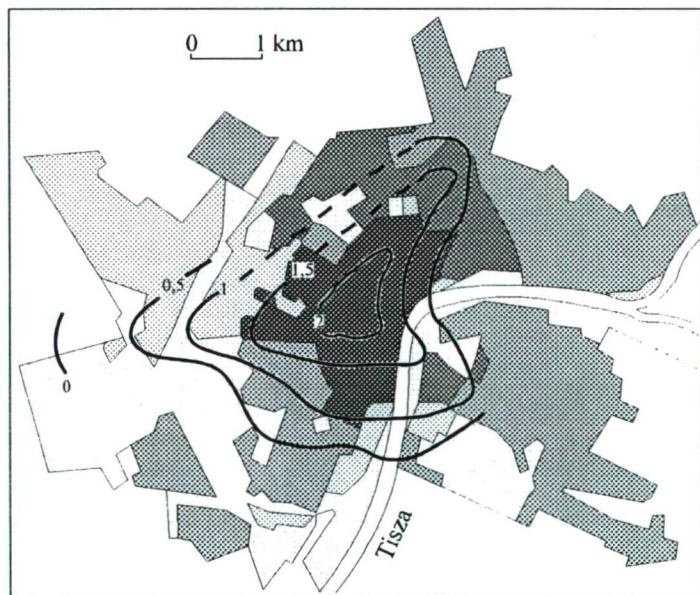
1978	Január	(1,2,3) (5,6) (10) (14,15) (19)
	Február	(21,22)
	Március	(3,4) (13) (23) (28,29,30,31)
	Április	(1) (7) (10) (23) (29)
	Május	(31)
	Június	(1,2) (10) (16) (19,20) (22,23) (30)
	Július	(1) (4,5) (9) (13,14) (16,17,18) (20) (23,24) (26,27,28,29) (31)
	Augusztus	(1,2,3) (6,7) (11,12,13) (16,17) (19) (21,22,23,24,25) (27)
	Szeptember	(4) (14,15,16) (21) (26)
	Október	(8,9,10,11,12) (14,15,16) (19) (22) (24) (28)
	November	-
	December	(5,6,7)
1979	Január	(3) (5) (7,8) (13)
	Február	(21,22,23,24) (27)
	Március	(2,3,4) (7) (9) (15) (20) (25)
	Április	(2,3) (9) (12,13,14,15,16) (20) (23) (30)
	Május	(10) (15,16) (18,19,20,21) (25) (29,30,31)
	Június	(1,2,3,4,5) (11) (24,25,26,27,28) (30)
	Július	(6) (11) (16) (19,20) (24,25,26) (29,30)
	Augusztus	(1,2,3) (5,6,7) (15,16) (21,22,23,24) (26) (28) (30,31)
	Szeptember	(1,2,3) (6,7,8) (12,13,14) (17) (19,20,21) (25) (30)
	Október	(1) (3,4,5) (9,10,11,12) (20,21) (24) (26,27)
	November	(23)
	December	(2) (13)
1980	Január	(4,5) (13) (18)
	Február	(20,21) (27)
	Március	(5) (31)
	Április	(12,13,14,15,16,17)
	Május	(7,8) (22,23) (26,27)
	Június	(2) (12,13,14,15) (20,21)
	Július	(1) (3) (12,13) (15,16) (19) (25) (27) (31)
	Augusztus	(1) (3) (5,6,7,8) (10) (16,17,18,19) (26,27,28) (30)
	Szeptember	(4,5,6,7) (17) (20,21,22,23) (26)
	Október	(4) (7) (17) (21) (23) (29) (31)
	November	(20,21,22,23,24,25,26)
	December	(13) (19) (30)

5.2. táblázat Az advekciómentes napsütéses napok száma és relatív gyakorisága évszakonként (1978-80)

	tél	tavas	nyár	ősz	év
A vizsgált napok száma	271	276	276	273	1096
A kiválasztott napok száma	36	58	113	71	278
A kiválasztott napok relatív gyakorisága (%)	13,3	21,0	40,9	26,0	25,4

5.3. táblázat A háttérállomás (1.) évszakos hőmérsékleti átlagai és a városi állomások évszakos átlagainak ettől vett eltérései (°C) a kiválasztott napokon (1978-80)

állomás	tél	tavas	nyár	ősz	
1.	-3,07	12,92	22,03	12,76	átlag
2.	2,38	1,70	1,73	2,70	eltérés
3.	1,65	1,22	0,90	1,43	
4.	1,35	2,23	1,06	2,65	
5.	1,05	0,58	0,77	1,39	
6.	0,25	0,83	0,68	0,50	
7.	0,10	0,17	-0,18	-0,02	
8.	1,00	-	0,90	1,40	
9.	0,55	0,80	0,76	1,28	
10.	0,29	0,59	0,29	0,94	
11.	0,74	0,85	0,36	1,90	



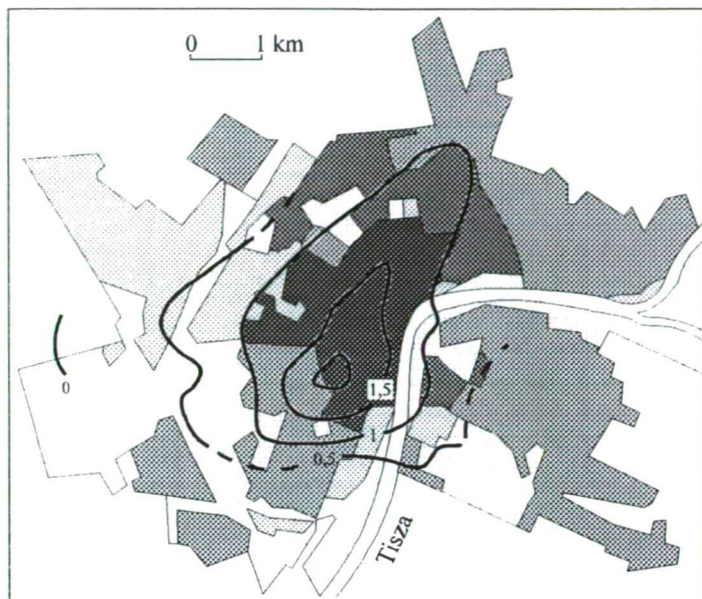
5.7. ábra A hőmérsékleti különbségek (°C) területi eloszlása télen a helyi klíma kialakulásának kedvező napokon (1978-80)

városmag kis körzetében egy több mint 2°C-os eltérésű terület alakul ki. A központ egyéb részei, a nagy panelházakkal betelepített "Tarján" és "Felsőváros", valamint az "Újszegeden" lévő szintén panelépítésű lakótelep ugyancsak jelentős hőmérsékleti többlettel bír (1,0-2,0°C). A főleg kertes családiházakból álló külvárosi részeken az eltérés nem túl jelentős, kevesebb mint 0,5°C.

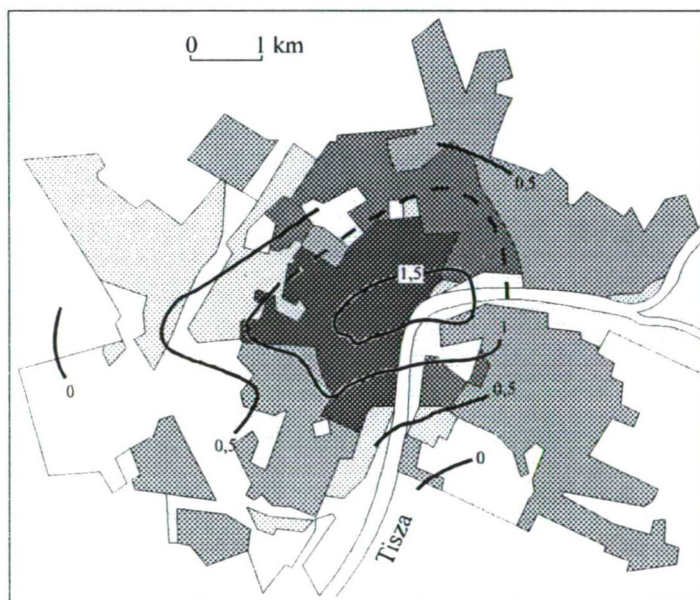
Tavasszal (5.8. ábra) a 2°C hőmérsékleti többlet a 3. állomás közvetlen környékére is kiterjed, ami a táblázatból olvasható ki. A város központi részein, az északkeletre elterülő panelház lakótelepekkel kiegészülve, 1,0-2,0°C közötti pozitív különbség mutatható

A hőmérsékleti különbségeket állomásonként és a városkörnyéki állomás évszakos átlagait az 5.3. táblázat tartalmazza. A 8. állomás tavaszi átlagától el kellett tekinteni, mivel a kiindulási értékek hiányos volta miatt az esetlegesen így számított átlag nem vehető össze a többi állomás jóval több értékből kapott tavaszi átlagaival. A táblázat adatainak felhasználásával a hőmérsékleti különbségek városon belüli területi eloszlását évszakonként az 5.7.-5.10. ábrák mutatják.

Az 5.7. ábráról kitétni, hogy télen a



5.8. ábra A hőmérsékleti különbségek (°C) területi eloszlása tavasszal a helyi klíma kialakulásának kedvező napokon (1978-80)

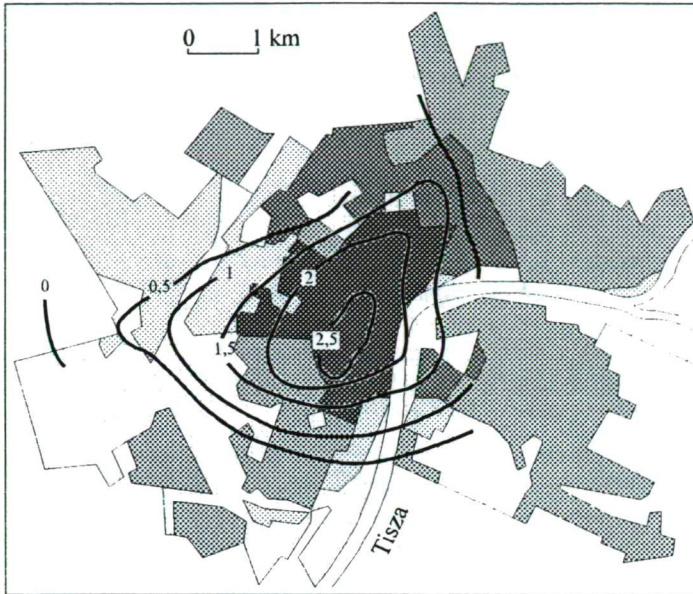


5.9. ábra A hőmérsékleti különbségek (°C) területi eloszlása nyáron a helyi klíma kialakulásának kedvező napokon (1978-80)

ki. A téli hónapokhoz viszonyítva, a nagyobb hőmérsékleti többlettel rendelkező részek területi kiterjedése csökkent, ami valószínűleg a fűtési idény fokozatos befejeződésével lehet kapcsolatban.

Nyáron (5.9. ábra) a maximális pozitív különbség értéke a 2°C-ot nem haladja meg és két helyen jelentkeznek: a belvárosban és a folyópart közelében. Ez utóbbi a nyáron felmelegedett víz hőtárolásával és ezáltal környezetének - főleg a reggeli és esti órákban - egyenletesebben melegen tartásával magyarázható. A város legnagyobb részére a 0,5-1,5°C közötti hőmérsékleti többlet jellemző. A külterületeken az eltérés jelentéktelen, sőt a dús növényzettel borított Fűvészkert (7. állomás) körzetében egy kicsit hűvösebb is van, mint a város környékén.

Ősszel (5.10. ábra) mutathatók ki a legnagyobb pozitív eltérések, amelyek a belvárosban 2,5°C-ot is meghaladó értékeket mutatnak. Ez azzal hozható összefüggésbe, hogy a térség általános időjárása ebben az év-



5.10. ábra A hőmérsékleti különbségek (°C) területi eloszlása összea helyi klíma kialakulásának kedvező napokon (1978-80)

szakban a legstabilabb, legkisebb a szél és legderültebb az égbolt (4.1. táblázat), ami kedvez a hősziget erőteljes kifejlődésének. Az 1,5°C-nál nagyobb hőmérsékleti többlettel jóval kiterjedtebb terület rendelkezik, mint az előző évszakban. A peremi részeken is 1°C-nál nagyobbak az eltérések, egyedül a Fűvészkert környékén nem mutatható ki a hőmérséklet emelkedése.

5.3. A városi hőmérsékleti többlet napi és évi járása

A következő fejezet a városi hőmérsékleti többlet napi és évi menete, valamint a különböző beépítettségű területek közötti kapcsolatot tárja fel.

Ehhez az elemzéshez a városkörnyéki háttérállomáson kívül a városklímahálózatnak azt az öt állomását használtam fel, amelyeknek az elhelyezkedése a legjobban reprezentálja az adott városmorfológiai típust (5.2. ábra). A 2. és 4. állomás a belvárosban, a 3. a panel-lakótelepen, az 5. a lakótelep és a kertes családiházak között, míg a 6. a külvárosban van.

Az adatok az 1978-80 közötti három évből származnak, az 1., 2., 3. és 4. állomás esetében a 01, 07, 13 és 19 órai, az 5. és 6. állomásnál a 07, 13 és 19 órai terminusok felhasználásával (közép-európai idő szerint). Ebből adódóan a hőmérsékleti többlet napi menetéről az első három városi állomás esetében átfogóbb, teljesebb kép rajzolható.

Minden állomás esetében a különböző terminusokhoz tartozó havi hőmérsékletek átlagait a háttérállomás átlagaihoz viszonyítottam és az ezekből képzett különbségeket számoltam ki. A havi átlagos eltéréseket egy adott időpontban vizsgálva az eltérések évi járása, míg egy adott hónap esetében (a különböző időponthoz tartozó értékeket figyelembe véve) az eltérések napi menete tanulmányozható.

A fent említett vizsgálatok részben a városi hősziget átlagos intenzitását, illetve az átlagos intenzitás időbeli változásait hivatottak kimutatni. Ez az intenzitás nem más, mint a város legmelegebb része (amely feltételezhetően a városmag) és külterületen elhelyezkedő háttérállomás közötti hőmérsékleti különbség, amelynek jelölése T_{u-r} . Más városok vizsgálati eredményeiből az derült ki, hogy az intenzitás maximuma általában naplemente után 3-5 órával jelentkezik (Oke, 1979, 1982). Jelen esetben ez azt jelenti, hogy Szegeden a maximális hőmérsékleti különbség az egész év folyamán este 7 és éjjel 1 óra között várható (a felhasznált adatok rögzített észlelési időpontokból származnak). Mint már korábban is szóba

került, a maximális különbségek kialakulására a tiszta és szélcsendes időjárási helyzetek a legalkalmasabbak. Az európai városokra két egyenlet is található a szakirodalomban, amelyek - a város nagyságának (lakosságának) függvényében - ezt a különbséget becsüli meg:

$$\max T_{u-r} = 2,01 \log P - 4,06 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{Oke, 1973}),$$

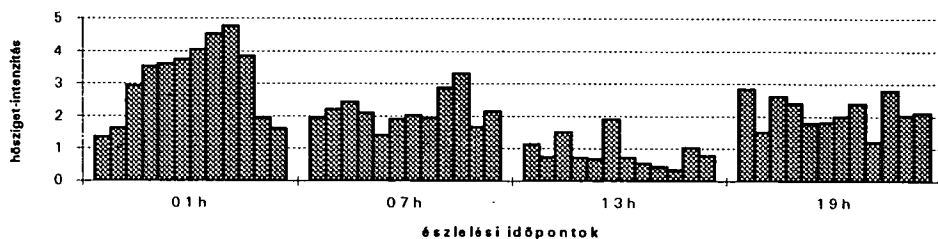
$$\max T_{u-r} = 1,92 \log P - 3,46 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (\text{Park, 1987}),$$

ahol P - a város lélekszáma. Szegeden az így becsült elméleti maximális hősziget-intenzitás az első egyenlet alapján $6,48^{\circ}\text{C}$ -nak, a második alapján $6,65^{\circ}\text{C}$ -nak adódik (a két érték közötti eltérés nem szignifikáns).

5.4. táblázat A 2. (belvárosi) állomás hőmérsékleti többletei ($^{\circ}\text{C}$) havonként és észlelési terminusonként (1978-1980)

hónap	01h	07h	13h	19h
J	1,35	1,93	1,13	2,83
F	1,63	2,20	0,73	1,50
M	2,93	2,43	1,50	2,60
A	3,53	2,10	0,70	2,40
M	3,60	1,40	0,67	1,77
J	3,73	1,90	1,90	1,80
J	4,03	2,03	0,70	2,00
A	4,50	1,97	0,53	2,40
Sz	4,77	2,87	0,43	1,20
O	3,83	3,30	0,33	2,80
N	1,93	1,67	1,03	2,03
D	1,60	2,13	0,77	2,10
év	3,12	2,16	0,87	2,12

Az 5.4. táblázat tartalmazza a városmagot reprezentáló 2. állomás átlagos hőmérsékleti eltéréseit a város környezetéhez viszonyítva. A táblázat adatainak segítségével megrajzolhatók az évi menetet terminusonként szemléletesen bemutató diagramok (5.11. ábra).



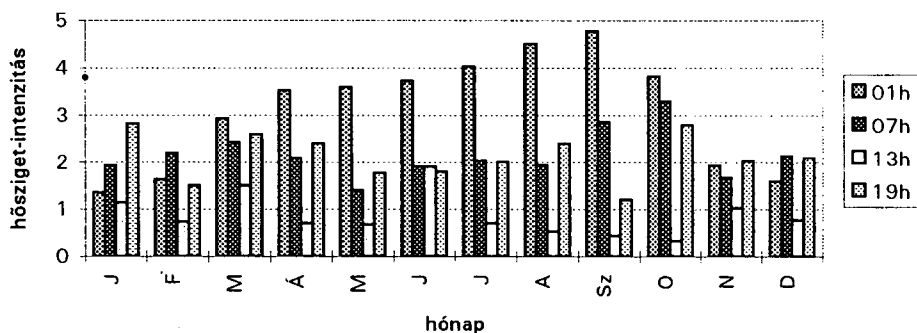
5.11. ábra A 2. állomás hőmérsékleti többletének ($^{\circ}\text{C}$) évi járása (havi átlagok) észlelési terminusonként (1978-1980)

Az ábráról leolvasható, hogy éjjel 1 óráig végig jelentős hőmérsékleti többlet mutatkozik, amely a nyári hónapokban a 4°C -t is meghaladja, és legnagyobb értékét szeptemberben éri el ($4,77^{\circ}\text{C}$). Ez az érték megközelíti a fentebb említett két egyenlet által becsült

értékeket, de azoknál mintegy $1,7^{\circ}\text{C}$ -kal alacsonyabb. Ez várható is, mivel ebben az esetben az átlagos havi intenzitásról van szó és nem a maximálisról. Az év folyamán a havi átlagos eltérés az év eleji minimumtól (január - $1,35^{\circ}\text{C}$) folyamatosan emelkedik az előbb említett szeptemberi legmagasabb értékig, majd az év hátralévő három hónapjában ismét csökken. A szeptemberi maximum valószínűleg annak a következménye, hogy a térség általános időjárása ebben a hónapban a legstabilabb. Az előzőekben említettek szerint a városok és környezetük közötti hőmérsékleti különbség általában a naplemente után néhány órával a legnagyobb, jelen esetben télen ez az időpont inkább a 19 órai, míg nyáron az éjjel 1 órai észleléshez esik közelebb. Egyébként ebben az utóbbi terminusban az év legnagyobb részében a hőmérsékleti különbség 2°C felett van, de legkisebb értékei is (novembertől februárig) meghaladják az 1°C -ot.

A legkisebb hőmérsékleti eltérések 13 órakor jelentkeznek. Szeptemberben és októberben szinte észrevétlenek ($0,5^{\circ}\text{C}$), a téli hónapokban 1°C körül vannak, míg a legnagyobb értéket júniusban veszik fel (csaknem 2°C).

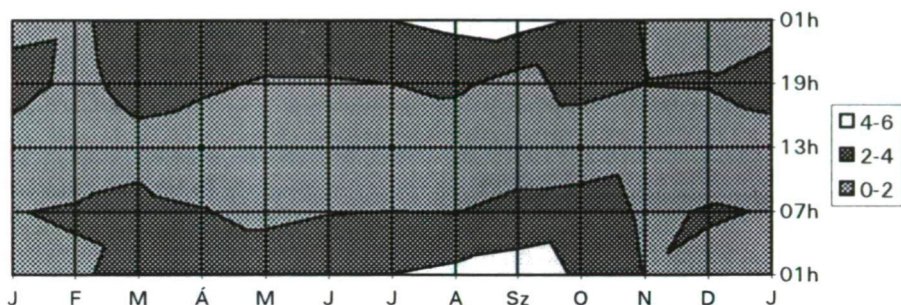
Reggel és este 7 órakor a különbségek a város javára az egész év folyamán átlagosan 2°C körüliek.



5.12. ábra A 2. állomás hőmérsékleti többletének ($^{\circ}\text{C}$) napi járása havonként (1978-1980)

A havi közepes hőmérsékleti többlet napi járása (5.12. ábra) karakterisztikus képet mutat márciustól novemberig (június kivételével). Az éjjel 1 órás maximumtól csökken 13 óráig, majd ismét nő este 7-ig, de nagysága nem éri el az éjjel 1 órai értéket. Az éjjel 1 órai maximum azt a tényt tükrözi vissza, hogy a város a nappal elnyelt hőmennyiséget visszasugározva melegíti a légterét, ezzel lassítva a lehűlés mértékét, míg a külterületeken a megszűnő napsugárzás következtében zavartalan a kisugárzás, a hőmérséklet erőteljesebben csökken. Ezért a hőmérsékleti különbségek naplemente után néhány óráig nőnek. Mindazonáltal a reggel 7 órai értékek is eléggé magasak, mivel a felkelő nap sugarainak energiája a külterületeken ekkor nagyrészt a korábban képződött harmat elpárologtatására, a belvárosban pedig a jóval kisebb harmatképződés miatt inkább a levegő felmelegítésére fordítódik. Az eltérésekben a 13 órai minimum a kiegyenlítő hatású megélénkítő advekción és konvekciós légáramlásoknak, a megerősödő felhőképződésnek, valamint annak köszönhető, hogy a külterületek is szárazabbá válnak és így a felmelegedés számára erre az időpontra kedvező feltételeket biztosítanak. A téli hónapokban - a korábban említett eredményekkel összhangban - az eltérések maximuma nem éjjel 1 órakor, hanem este vagy reggel jelentkezik, de a minimuma az év többi időszakához hasonlóan szintén 13 órakor van.

Az 5.11. és 5.12. ábrák diagramjait izopléták segítségével egy ábrába is össze lehet foglalni (5.13. ábra). Az ábráról közvetlenül leolvasható, hogy az évnek és a napnak egy adott szakaszára milyen átlagos városi hősziget-intenzitás jellemző. (Az ábra elemzésekor természetesen figyelembe kell venni azt, hogy a kiindulási adatok diszkrét időpontokra vonatkoznak, míg az ábráról a leolvasás elvileg folytonos.)



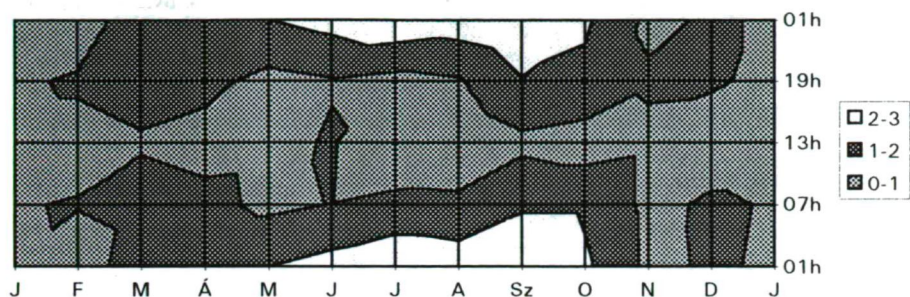
5.13. ábra A 2. állomás hőmérsékleti többletének (°C) izoplétái (1978-80)

Mivel a 2. állomás a belvárosban van, és feltételezhetően a legjobban reprezentálja a szegedi hősziget-intenzitás mértékét, ezért legrészletesebben ehhez az állomáshoz tartozó eredmények kerültek bemutatásra. A további 4 állomás esetében a vizsgálatok tárgyalása kevésbé részletes, de az mindjárt az elején leszögezhető, hogy a 6. állomás néhány havi átlagos eltérésétől eltekintve a különbségek mind pozitívak, bár nem olyan nagyságrendben, mint a belváros esetében. Ezek a tények egyértelműen bizonyítják a város melegebb voltát a környezetéhez képest. A 6. állomás egyébként már egy peremkerületben van, ezért nem lehet igazán reprezentatív városi állomásnak tartani.

5.5. táblázat A 3. (panel-lakótelepen lévő) állomás hőmérsékleti többletei (°C) havonként és észlelési terminusonként (1978-1980)

hónap	01h	07h	13h	19h
J	0,90	0,93	0,57	0,80
F	0,20	1,07	0,57	1,17
M	1,85	1,53	0,87	1,47
Á	1,95	1,30	0,63	1,27
M	2,00	0,77	0,70	0,70
J	2,35	1,03	1,10	0,93
J	2,77	1,30	0,00	0,70
A	2,53	1,23	0,20	0,90
Sz	2,95	1,85	0,77	1,93
O	2,15	1,87	0,53	1,77
N	0,80	0,77	0,77	1,13
D	1,10	1,13	0,53	1,10
év	1,80	1,39	0,69	1,16

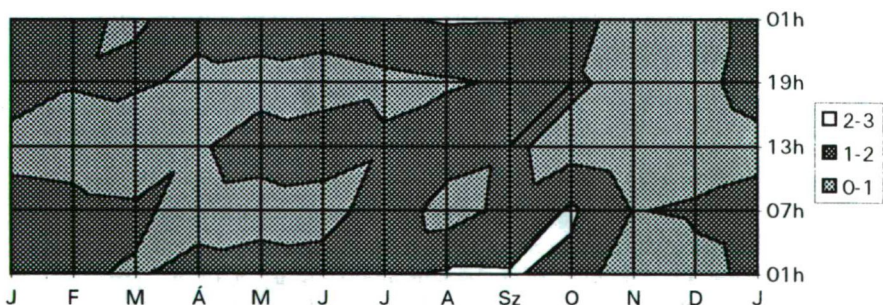
A 3. és 4. állomás hőmérsékleti többleteit az 5.5. és 5.6. táblázatok foglalják össze. Ezen adatok alapján az előzőekhez hasonlóan megrajzolhatók a többletek évi és napi járását bemutató izopléták (5.14. és 5.15. ábrák).



5.14. ábra A 3. állomás hőmérsékleti többletének (°C) izoplétái (1978-80)

5.6. táblázat A 4. (belváros szélén lévő) állomás hőmérsékleti többletei (°C) havonként és észlelési terminusonként (1978-1980)

hónap	01h	07h	13h	19h
J	1,23	1,33	0,73	1,40
F	1,10	1,25	0,65	1,05
M	0,92	1,15	0,25	1,15
Á	1,25	0,70	0,90	0,80
M	1,47	0,57	1,40	0,67
J	1,63	0,40	1,70	0,43
J	1,90	1,73	1,17	0,73
A	2,10	0,53	1,53	0,90
Sz	2,07	1,30	1,20	1,10
O	1,77	2,13	0,57	1,20
N	0,05	0,95	0,30	0,60
D	0,70	1,15	0,40	0,70
év	1,35	1,10	0,90	0,89



5.15. ábra A 4. állomás hőmérsékleti többletének (°C) izoplétái (1978-80)

Ahogy a táblázatok és ábrák mutatják, a hőmérsékleti többletek éjjel 1 órakor a legnagyobbak - nyári és őszi maximummal -, különösen az előregyártott betonelemekből épült lakótelepet képviselő 3. állomásnál.

5.7. táblázat Az 5. (lakótelep és a kertesi családiházak között lévő) és 6. (külvárosban lévő) állomás hőmérsékleti többletei (°C) havonként és észlelési terminusonként (1978-1980)

hónap	5. állomás			6. állomás		
	07h	13h	19h	07h	13h	19h
J	0,67	0,47	1,57	0,07	0,17	-0,23
F	0,63	0,47	0,60	0,30	0,27	-0,17
M	1,10	0,67	0,90	0,70	0,23	0,40
A	0,67	0,70	0,80	0,73	0,33	0,60
M	0,37	0,43	0,47	0,27	0,47	0,73
J	0,07	0,70	0,43	0,13	0,53	0,40
J	0,40	0,23	0,70	0,27	0,20	0,23
A	0,70	0,20	0,10	0,33	0,33	0,67
Sz	1,17	0,20	1,63	0,70	0,07	1,00
O	1,53	0,50	1,30	0,63	-0,13	0,30
N	0,90	0,87	1,13	-0,07	-0,07	-0,07
D	0,97	0,83	1,03	0,03	-0,10	-0,37
év	0,76	0,52	0,89	0,34	0,19	0,28

Az 5. és 6. állomás esetében a városi többlet értékeit csak táblázatokban érdemes megadni, mivel a három észlelési terminusból származó adatbázis alapján az izopletákat nem lehet korrekten módon megrajzolni és így elemezni (5.7. táblázat).

A fentiek alapján általában az a jellemző a belvároson kívüli városi állomásokra, hogy a különböző észlelési időpontokban a hőmérsékleti többletek értékei is túlnyomóan pozitívak, de mérsékeltőbb nagyságrendűek a belvárosi értékeknél. Így a következő, nagyság szerint csökkenő sorrend állítható fel az eltérő beépítettséget reprezentáló állomások között:

- 3. állomás - betonelemekből álló, 5-10 emeletes lakótelep,
- 4. állomás - lazán épült belváros,
- 5. állomás - családi házak és az 5-10 emeletes épületek határa,
- 6. állomás - külvárosi terület.

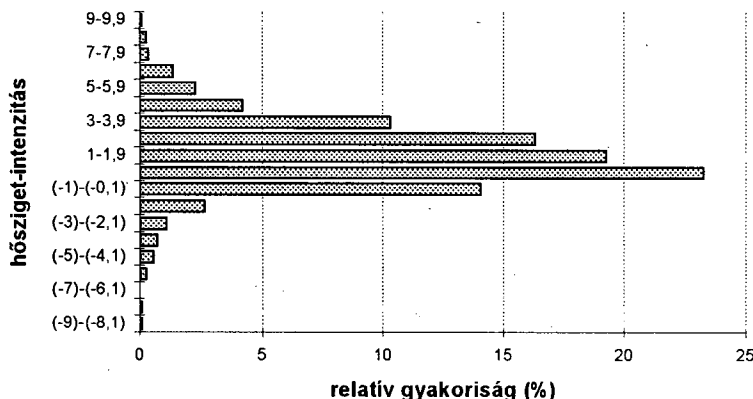
Egyértelműen megállapítható, hogy a városi hőmérsékleti többlet nagysága szorosan összefüggésben van a beépítettség mutatóival (házak nagysága és sűrűsége) és mindegyik beépítettségi típus esetében a többlet átlagos havi értékének minimuma 13 órákor jelentkezik.

5.4. Az eltérő meteorológiai feltételek hatása a városi hősziget intenzitására

A városi hősziget kifejlődésének erőssége és területi kiterjedésének nagysága egy rövidebb időszak tekintetében nemcsak a város földrajzi fekvésétől, nagyságától, lakóinak számától és iparának fejlettségétől, hanem az éppen akkor uralkodó meteorológiai feltételektől is jelentősen függhet. Számos várost lehet példaként felhozni, ahol a vizsgálatok a hősziget intenzitása és más faktorok közötti kapcsolatok feltárására irányultak. Így többek között Uppsala (Sundborg, 1950), Budapest (Probáld, 1974), Birmingham (Unwin, 1980), Róma (Colacino and Lavagnini, 1982), Rotterdam (Roodenburg, 1983), Chicago (Ackerman, 1985), Szöul (Park, 1986), Madrid (Yagüe et al., 1991) és Barcelona (Moreno-Garcia, 1994) esetében mutattak ki ilyen jellegű kapcsolatokat.

A vizsgálat első felében a hősziget-intenzitás (T_{u-r}), mint a városi és külterületi állomás (2. és 1.) megfelelő hőmérséklete közötti különbség jelenik meg. Először a T_{u-r} a minimumhőmérsékletek eltéréseit jelenti, ezeknek a naponkénti értékeit vetem össze a Magyarországon aznapra jellemző makroszinoptikus helyzetekkel, valamint a Szegeden uralkodó szélsőséggel és felhőzöttséggel. A szélsőségség és felhőzöttség értékek az 1. állomás észleléseiből származnak, még hozzá a nyári félévben (márciustól augusztusig) az éjjel 1 órai értékek, a téli félévben az éjjel 1 órai és a reggel 7 órai értékek átlagai szerepelnek, mert a hőmérséklet napi menetében a minimum ezen két időpont közelében jelentkezik általában. Az 1978 és 1980 közötti időszakból az 1980 májusi és júliusi széladatok hiányoznak, ezért az elemzés ebben az esetben csak 1034 napra terjed ki.

Első lépés a hősziget-intenzitás relatív gyakoriságának vizsgálata a teljes három év során (1096 nap). A hőmérsékleti kategóriák értékközeit 1°C -osnak választva, a kapott eredményeket az 5.16. ábra mutatja.



5.16. ábra A városi hősziget intenzitásának relatív gyakoriságai a napi minimumhőmérséklet tükrében (1978-80)

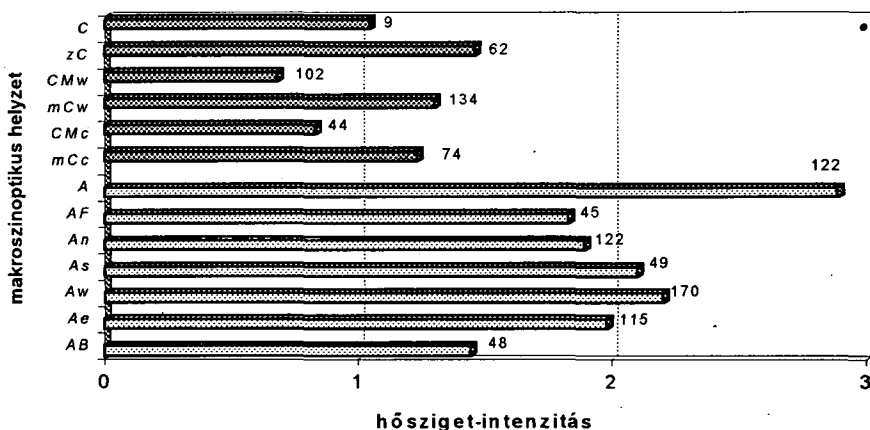
Az ábra szerint a T_{u-r} értékek a napok többségében (69,16%) 0°C és 4°C közé esnek, valamint a -1°C és 0°C közötti értékek száma is meglehetősen magas (8,58%). A nagyobb pozitív és negatív értékek felé már jóval alacsonyabb a relatív gyakoriság, és ez a szélek felé még egyre csökken is. A 8°C -os értéket csak kétszer haladta meg az intenzitás. Ezen a két napon (1980. augusztus 20. és 26.) és az őket megelőző időszakokban Magyarország felett anticiklonok uralkodtak, amelyekre sok napsütés, szélcsend és csapadékmentesség volt a jellemző. A negatív hősziget legalacsonyabb értéke nem esett $-2,5^{\circ}\text{C}$ alá. Az egész három éves időszakot (1096 napot) tekintve az átlagos hősziget-intenzitás Szegeden $1,74^{\circ}\text{C}$ volt.

A hősziget-intenzitás és a térség felett uralkodó általános időjárási helyzetek napi sorozatai közötti kapcsolat feltárására a Magyarországra érvényes makroszinoptikus osztályozást használtam fel. A típusok a következők (Péczely, 1983):

As = anticiklon Magyarországtól délre
Aw = nyugatról benyúló anticiklon
Ae = anticiklon Magyarországtól keletről
AB = anticiklon a Brit-szigetek térségében
An = anticiklon Magyarországtól északra
AF = anticiklon Fennoskandinávia térségében
A = anticiklon a Kárpát-medence felett

zC = zonális ciklonális
mCw = ciklon előoldali áramlásrendszere
CMw = mediterrán ciklon előoldali áramlásrendszere
mCc = ciklon hátoldali áramlásrendszere
CMc = mediterrán ciklon hátoldali áramlásrendszere
C = cikloncentrum a Kárpát-medence felett.

A típusonkénti átlagos hősziget-intenzitást az 5.17. ábra mutatja be. Ahogy várható is volt, a hősziget egyértelműen erősebben fejlődik ki anticiklonális helyzetekben, mint más esetekben. Az *A* típus esetében az átlagos T_{u-r} kimagaslóan nagynak adódik ($2,89^{\circ}\text{C}$). Erre az időjárási helyzetre főleg a tiszta égbolt, szélcsend vagy enyhe szellő, és a csapadék hiánya jellemző, amelyek mind kedveznek a hősziget erőteljes kifejlődésének. A *CMw* és *CMc* helyzetekhez tartozó igen alacsony T_{u-r} értékek ($0,68^{\circ}\text{C}$ és $0,83^{\circ}\text{C}$) az első esetben a mediterrán ciklon melegfrontja által okozott heves esőzésnek ill. havazásnak, a második esetben a mediterrán ciklon hidegfrontjához kapcsolódó viharos szélnek a hőmérsékleti különbségeket elmosó hatásával magyarázhatók. Az anticiklonális (671 nap) és az egyéb helyzeteket (425 nap) külön-külön csoportosítva, az átlagos hősziget-intenzitások között jelentős, csaknem kétszeres eltérés tapasztalható ($2,15^{\circ}\text{C}$ és $1,15^{\circ}\text{C}$). Az eredmények világosan mutatják, hogy Szegeden az anticiklonális időjárási helyzetek sokkal kedvezőbbek az erőteljes hősziget kifejlődése szempontjából, mint a más (ciklonális) helyzetek.



5.17. ábra Az átlagos városi hősziget-intenzitás ($^{\circ}\text{C}$) a makroszinoptikus típusok függvényében (zárójelben az esetek száma 1978 és 1980 között)

4°C -nak lehet megadni azt a küszöbértéket, amelynél nagyobb hősziget-intenzitás esetén szélsőségesen erősen kifejlődött hőszigetről lehet beszélni. A T_{u-r} értékek a vizsgált három év 133 napján haladták meg ezt az alsó határt. Időjárási helyzetenkénti megoszlásukat az 5.8. táblázat adja meg. Az extrém erős hőszigetek megjelenésekor az anticiklonális helyzetek száma figyelemreméltóan magasabb (89,4%), mint a más helyzeteké. Ezen belül is az *A* típus aránya a domináns (34,6%).

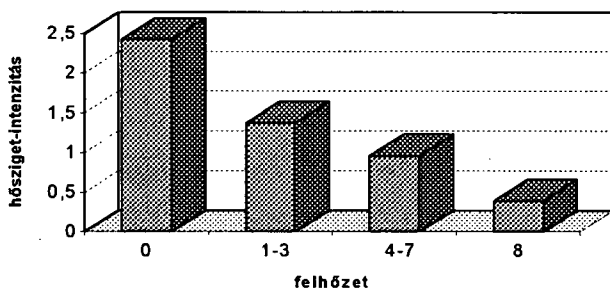
A felhőzöttség mértéke és a hősziget-intenzitás nagysága közötti kapcsolat feltárása azt mutatja, hogy a városi hősziget felhőtlen vagy gyengén felhős égbolt esetében (0-4 okta) fejlődik ki a legjobban (5.18. ábra). Derült napokon az átlagos T_{u-r} érték meghaladja a 3°C -ot, míg teljes borultság esetén csak $0,5^{\circ}\text{C}$ körüli átlagos értéket vesz fel. Az ábrán látható felhőzöttségi kategóriákat úgy különítettem el, hogy nagyjából egyenlő számú nap kerüljön egy-egy csoportba.

A szélsébséggel kapcsolatos eredmények azt mutatják (5.19. ábra), hogy a hősziget szélcsendes időjárási feltételek mellett fejlődik ki a legerősebben (átlagos $T_{u-r} > 3^{\circ}\text{C}$). A szél erősödésével azonban egyre inkább gyengül és 3 m/s-os szélsébségnél már kevesebb, mint felére csökken az intenzitás ($1,44^{\circ}\text{C}$). Az 5 m/s-os sebességhatártól kezdődően az erős

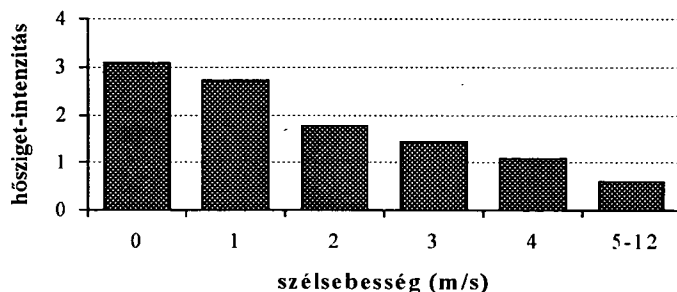
szelek kis száma miatt az ehhez a szélsébségekhez tartozó intenzitások egy összevont kategóriába kerültek. Látható, hogy ebben az összevont (5-12 m/s) kategóriában az átlagos intenzitás (0,6°C) már csak alig több, mint fele a 4 m/s erősségű szélnél kimutatható hőmérsékleti különbségnél (1,09°C). Az 1°C-nál kisebb átlagos T_{u-r} érték már elhanyagolhatóan kicsi különbségre, tehát gyakorlatilag a hősziget megszűnésére utal (Oke and Hannel, 1970). Ez igen jó egyezést mutat azzal az eredménnyel, amely szerint minden városhoz tartozik egy - annak nagyságától (lélekszámától) függő - szélsébség, amelynél nagyobb szél esetén teljesen elmosódik a város és környezete közötti hőmérsékleti különbség. Ezt a kritikus s szélsébséget egy tapasztalati képlet adja meg (lásd 5.2.1. fejezet), amely Szegeden $s = 6,2$ m/s-nak adódott (tehát benne van az 5-12 m/s-os kategóriában).

5.8. táblázat A szélsőségesen erősen kifejtett ($T_{u-r} \geq 4^\circ\text{C}$) városi hőszigetek száma és relatív gyakorisága a napi minimumhőmérséklet alapján az időjárási helyzetek függvényében (1978-80)

	AB	Ae	Aw	As	An	AF	A	mCc	CMc	mCw	CMw	zC	C
nap (db)	5	14	30	7	13	4	46	3	2	6	1	1	1
rel. gyak. (%)	3,7	10,5	22,6	5,2	9,8	3,0	34,6	2,2	1,5	4,5	0,8	0,8	0,8



5.18. ábra Az átlagos városi hősziget-intenzitás (°C) a felhőzöttség (okta) függvényében a napi minimumhőmérséklet alapján (1978-80)



5.19. ábra Az átlagos városi hősziget-intenzitás (°C) a szélsébség függvényében a napi minimumhőmérséklet alapján (1978-80)

fejtett a városi hősziget és fordítva.

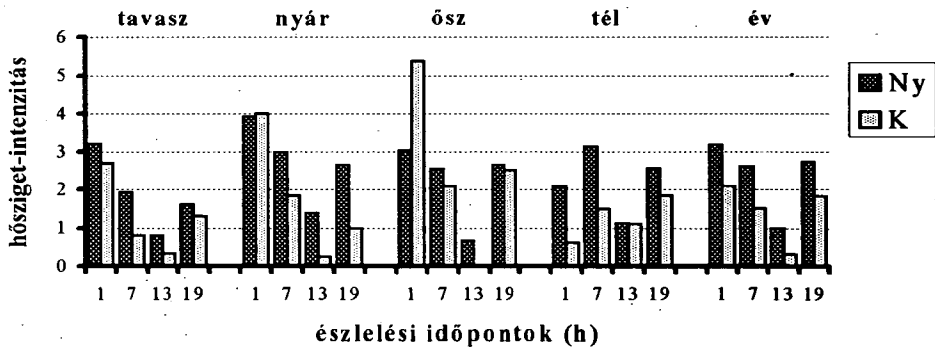
Érdeemes megvizsgálni azt is, hogy a felhőzet és szélsébség változásainak együttesen milyen hatása van a városi hősziget erősségére. Az adatok - mindkét változó több osztályba sorolásával 9 elkülönített csoportba kerültek. Az így csoportosított értékekből kiszámolt átlagos T_{u-r} értékek megadják, hogy a különböző erősségű szél és felhőzet esetén mennyire erős a városi hősziget (5.9. táblázat). A táblázat szerint a T_{u-r} értékek minden oszlopban és sorban jobbra és lefelé nőnek, vagyis minél gyengébb a szélsébség és a felhőzet, annál erősebben

5.9. táblázat Az átlagos városi hősziget-intenzitás (°C) a napi minimumhőmérséklet alapján a felhőzottség és a szélesebbesség együttes hatásának függvényében, valamint a napok száma kategóriáinként (zárójelben) (1978-80)

		szélesebbesség (m/s)			
		0 - 2	3 - 5	6 - 12	0 - 12
felhőzet (okta)	0 - 2	3,21 (255)	1,97 (124)	0,95 (10)	2,74 (389)
	3 - 5	2,24 (105)	1,40 (94)	0,92 (16)	1,78 (215)
	6 - 8	1,04 (198)	0,71 (202)	0,45 (30)	0,84 (430)
	0 - 8	2,24 (558)	1,23 (420)	0,65 (56)	1,75 (1034)

A következőkben a város hőmérsékletemelő hatásának a fő szélirányokkal való kapcsolatát elemzem, méghozzá évszakos bontásban. Külföldön ezirányú vizsgálatokkal pl. Bréma (Kratzer, 1956) és London (Lee, 1975) esetében találkozhatunk. Hazánkban Miklósi (1981) mutatta ki Budapest esetében, hogy a K-i és DNy-i szélirányoknak a reggeli órákban jelentős a hősziget intenzitását növelő hatása. A város meleg levegőjének a szél irányában történő lehetséges elmozdulására Oke (1982) is felhívta a figyelmet.

Ennél a vizsgálatnál a hősziget-intenzitás (T_{u-r}), mint a városi és külterületi állomás éjjel 1, reggel 7, délben 1 és este 7 órai hőmérséklete közötti különbség jelenik meg, vagyis minden nap esetében a négy időponthoz tartozó hőmérsékleti különbségeket és szélirányokat veszem számításba, képezve az adott széliránnyhoz tartozó hősziget-intenzitás évszakos és éves átlagait. Itt érdemes ismét megemlíteni, hogy a belvárosi állomás a most is működő külterületitől 4,4 km-re és K-i irányban helyezkedett el. Emiatt a fő szélirányok közül csak a K-i és Ny-i irányra korlátozódik az elemzés. A kérdés az, hogy a két állomás esetében az egymás felé irányuló légáramlás hogyan befolyásolja a hősziget nagyságát.



5.20. ábra Az évszakos és éves átlagos hősziget-intenzitás (°C) a K-i és a Ny-i szélirány függvényében (1978-80)

Az 5.20. ábra mutatja be az eredményeket évszakos és éves bontásban a két szélirány szerint. Látható, hogy szinte minden évszakban és minden észlelési időpontban a hősziget a Ny-i szél esetén erősebb (gyakran több, mint kétszer akkora), mint a K-i szélnél (tavasz 13h, nyár 13 és 19h, ősz 13h, tél 1 és 7h, év 13h). Kivételt képeznek a nyári és őszi észlelések 1h-kor, de ezekben az esetekben a kapott T_{u-r} átlagok a K-i szélnél mindössze 4-4 adatból képződtek, míg a Ny-i szél esetében 24, illetve 13 adatból, tehát statisztikailag nem

igazán vethetők össze. Ilyen szempontból mérvadóbb a több adatból kiszámolt éves átlagok összehasonlítása, amelyek alapján egyértelműen kitűnik, hogy a város hőmérsékletemelő hatása Ny-i szélnél látszólag hangsúlyosabb, míg K-i szélnél mérsékeltebb. A jelenség magyarázata kézenfekvő: K-i szél esetében a város melegebb levegője a tőle Ny-ra elhelyezkedő külterületek felé áramlik, így megemeli az ott lévő külterületi állomás környezetének hőmérsékletét (ami ezért nem lesz teljesen városi hatástól mentes) és emiatt az adott észlelési időpontokban csökken a belvárosi és a külterületi "reprezentáns" állomás közötti hőmérsékleti kontraszt.

Az 5.20. ábráról egyébként mellékesen az a tény is megállapítható, hogy éves szinten a hősziget átlagosan a napnyugta után éjjel 1h-kor a legerősebb, reggel és este szintén erős, nagyjából egyforma mértékben, míg délben a leggyengébb. Ez a szegedi átlagos napi ciklus jó összhangban van a más - mérsékeltövi - városoknál megállapított hősziget-intenzitásokkal. Az ettől az átlagos napi menettől való szezonális eltérések okai valószínűleg a nappalok és éjszakák eltérő hosszában, valamint az antropogén hőtermelés mennyiségének változásaiban keresendők.

Tehát összességében megállapítható, hogy Szegeden

(i) a városi hősziget-intenzitás

- erősebb az anticiklonális időjárási helyzetekben, mint a többi helyzetben,
- erősebb derült vagy enyhén felhős égbolt mellett, mint borult égnél,
- erősebb szélcsendnél vagy enyhe szellőnél, mint nagyobb szélsébségeknél,
- erősebb Ny-i (város felé fújó) szél esetében, mint K-i (város felől fújó) szélnél.

(ii) szélsőségesen erős ($>4^{\circ}\text{C}$) hősziget-intenzitás szinte csak anticiklonális időjárási helyzet uralkodása esetén alakul ki.

A vizsgálat második felében a $T_{u-r}(i)$ az adott i (01, 07, 13 és 19) órás terminusban észlelt belvárosi és külterületi hőmérsékletek közötti különbséget jelenti. A kérdés az, hogy ezeknek az adott időpontokban észlelt hősziget-intenzitásoknak a nagysága statisztikailag milyen mértékben függ a "tágabb" külterület városi zavaroktól mentes, természetes időjárását jellemző paraméterektől. Olyan regressziós egyenlet felállítása és konstansainak meghatározása a cél, amelynek független változóit a térség természetes időjárását reprezentáló 1. állomáson észlelt hőmérséklet, párányomás, felhőzet és szélsébség értékek, míg a függő változót a 2. és 1. állomáson mért hőmérsékletek különbségei adják. Vagyis a

$$T_{u-r}(i) = A + Bt_i + Ce_i + Dc_i + Ev_i$$

regressziós egyenlet felállítására van szükség, ahol A , B , C , D és E konstansok, valamint t_i a hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), e_i a párányomás (hPa), c_i a felhőzet (okta) és v_i a szélsébség (m/s) az i órás terminusban. A terminusonként több, mint 1000 eset adataiból kapott eredmények szerint egy adott napon az aznapra érvényes meteorológiai paraméterek felhasználásával a különböző észlelési időpontokhoz tartozó hősziget-intenzitás mértékének megbecslésére az alábbi egyenletek nyújthatnak segítséget:

$$T_{u-r}(1) = 4,905 + 0,025t_1 + 0,037e_1 - 0,340c_1 - 0,310v_1 \quad (r^2 = 0,4181)$$

$$T_{u-r}(7) = 3,264 - 0,118t_7 + 0,140e_7 - 0,177c_7 - 0,233v_7 \quad (r^2 = 0,2377)$$

$$T_{u-r}(13) = 0,219 - 0,060t_{13} + 0,102e_{13} + 0,046c_{13} + 0,019v_{13} \quad (r^2 = 0,1070)$$

$$T_{u-r}(19) = 3,778 - 0,045t_{19} + 0,037e_{19} - 0,189c_{19} - 0,148v_{19} \quad (r^2 = 0,1931)$$

Az együtthatókból látható, hogy a különböző meteorológiai paraméterek eltérő súllyal és előjellel szerepelnek a különböző időpontokban. A felhőzet és a szélsébség (negatív) szerepe éjjel 1 órakor a domináns, míg délután 1 órakor a legkisebb a súlyuk. Ez kapcsolatban lehet azzal, hogy kora délután általában felhősebb és szelesebb az időjárás, mint éjszaka, így a felhősödés és a szél esetleges további erősödése már viszonylagosan nem olyan arányú, mintha az ugyanolyan mértékű erősödés éjszaka következett volna be. A párányomás pozitív szerepe azzal hozható összefüggésbe, hogy minél nagyobb a páratartalom a természetes felszín felett, annál nagyobb a sugárzásgyengítő hatása, vagyis annál kevésbé melegszik fel a felszín, így nő a hőmérsékleti különbség a külterület és a város között. Különösen reggel 7 órakor hangsúlyos a párányomás szerepe.

A kapott eredmények értelmezésénél azonban természetesen hangsúlyozni kell azt, hogy mivel ezek az egyenletek a szegedi észlelések adatainak matematikai statisztikai feldolgozása révén adódtak, emiatt csak Szegedre érvényesek. Ezért más városokra történő esetleges felhasználásuk nagy valószínűséggel hamis következtetésekre vezetne.

5.5. A város hőmérsékletemelő hatására utaló egyéb mutatók

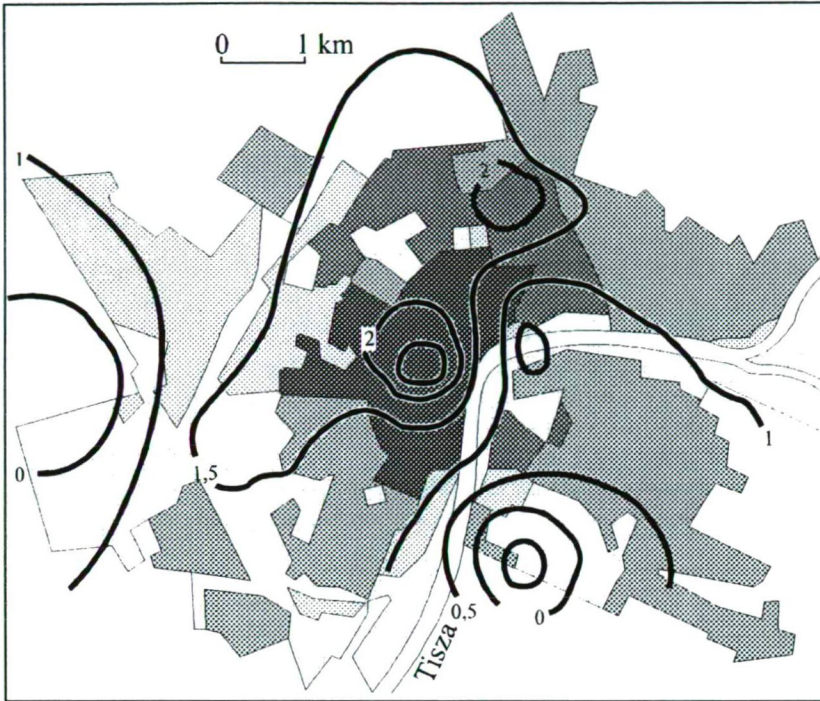
a) Kiszámolva a minimumhőmérsékletek három éves havonkénti átlagait állomásonként, majd képezve a külterületi állomáshoz viszonyított városi többleteket, az 5.10. táblázatban található értékek adódnak.

Összességében csaknem 100 érték szerepel a táblázatban, amelyek visszatükrözik a városi hőmérsékleti többlet éves járását állomásonként, valamint a többlet havonkénti területi eloszlását a város különböző beépítettségű részein. A legmagasabb havi különbségek nyilvánvalóan a belvárosban (2. és 4. állomás), a panelépítésű lakótelepen (3.) és a nagy vízmennyiség mérséklő hatásának következtében a Tisza partján jelentkeznek. A 8. állomás havi közepeit és a 11. állomás januári és februári közepeit nem volt érdemes kiszámolni az adatsorokban lévő hiányosságok miatt.

5.10. táblázat A városi minimumhőmérsékleti többletek (°C) havi átlagai állomásonként (1978-80)

áll.	J	F	M	A	M	J	J	A	Sz	O	N	D
2.	0,7	0,3	1,2	1,9	1,5	1,8	2,0	2,5	2,9	2,5	0,4	0,6
3.	1,1	1,2	1,7	1,9	1,8	1,7	2,1	1,9	2,4	1,9	0,9	1,2
4.	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	2,0	1,8	1,4	1,3	1,0	-0,4	-1,3
5.	0,5	0,4	0,3	0,7	0,0	0,8	0,7	0,0	0,8	0,2	-0,5	-0,1
6.	1,0	0,7	1,3	1,6	1,6	1,4	1,6	1,2	1,0	0,7	0,0	0,3
7.	-0,4	-0,3	-0,4	-0,3	-0,5	-0,6	-0,2	-0,4	-0,7	-0,4	-0,5	-0,3
9.	1,3	1,0	1,4	1,9	1,1	1,5	1,9	1,9	2,0	1,7	0,5	2,0
10.	0,3	0,3	0,2	0,6	0,3	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,1	0,1
11.	-	-	2,6	0,4	1,7	1,0	1,5	1,2	1,1	0,3	-0,5	-0,3

A városi hőmérsékleti többlet területi eloszlásának illusztrálására szolgál az 5.21. ábra, amely éves szinten a legkarakterisztikusabb hónap, a szeptember esetében mutatja be a hősziget szerkezetét izovonalak segítségével. A legmelegebb terület a városmag, ezenkívül a város ÉK-i részén elhelyezkedő, magas házakból álló panel-lakótelepen is kifejlődik egy másik, másodlagos melegszektor. A szeptemberi maximum valószínűleg annak a következménye - mint korábban is láttuk -, hogy a térség általános időjárása ebben a hónapban a legstabilabb, legkisebb a szél és legderültebb az égbolt (4.1. táblázat).



5.21. ábra A városi hősziget ($^{\circ}\text{C}$) területi struktúrája szeptemberben a napi minimumhőmérséklet tükrében (1978-80)

Egyébként a város széle felé fokozatosan csökkennek a hőmérsékleti eltérések, amit az izovonalak koncentrikus jellegű futása egyértelműen kifejez. Érdekes megfigyelni, hogy egy hűvösebb terület alakul ki a város déli szélén, ahol a minimumhőmérsékletek alacsonyabbak, mint a külterületi állomáson. Az itt elhelyezkedő 7. állomás a dús vegetációjú Fűvészkertben van, ahol kisebb légmozgás miatt jobban lehülhet a levegő, mint a jobban át-szellőzött, nyílt terepen lévő 1. állomás esetében.

b) A városnak a természetes környezetektől eltérő szerkezete, anyaga, szennyezett légköre, valamint mesterséges hő- és vízkibocsátása következtében kifejlődött városi hősziget megváltoztatja a fűtési idény hosszát és a fűtésre felhasznált energia mennyiségét is. Természetesen a módosító hatás leginkább azokon a területeken jelentkezik, ahol a hősziget a legerőteljesebb, vagyis általában a sűrűn beépített belvárosi részekben.

Hazánkban viszonylag régen, bő két évtizeddel ezelőtt vizsgálták meg - a főváros esetében - a belterületek felmelegedése következtében csökkenő fűtési energiaszükségletet (Probáld, 1974, 1981). Ezért talán nem érdektelen ezzel a problémával újra foglalkozni a vidéki nagyváros - Szeged - példáján keresztül.

Az előbb említett fűtési jellemzők kimutatására szolgál a fűtési napok száma, a fűtési fokszám és az éves energia-felhasználás, amelyek elsősorban a külső hőmérséklet függvényei. Egy kritikus hőmérsékleti érték alatt az embereknek fokozódó igényük van a zárt terek, épületek felmelegítésére, hogy napi teendőiket normális körülmények között tudják elvégezni. Minél szélsőségesebbek a külső feltételek, annál több fűtőanyagra van szükség (Soulé and Suckling, 1995).

A magyarországi szabványok szerint *fűtési napnak* (F_n) számít az a nap, amelyen a külső levegő napi középhőmérséklete (t_i) nem emelkedik 12°C fölé (jelen vizsgálatban ezt az értéket használom, de esetenként szokás a 10°C -os küszöbszám alkalmazása is).

A *fűtési fokszámnak* (F_f) - mint mértékadó éghajlati jellemzőszámnak valamely helyen a fűtési idény energia-szükségletének tervezéséhez, mivel a felhasznált energia (gáz, olaj, szén, stb.) mennyisége közelítőleg arányos vele - a következő a definíciója:

$$F_f = \Sigma(T - t_i)$$

ahol T a helyiségben megkívánt hőmérséklet (általában 20°C) és az összegzés a fűtési napokra vonatkozik egy adott fűtési idényben. Két hely fűtési fokszámanak az abszolút mennyisége, illetve az aránya egyazon időszakon belül kiválóan alkalmas a két hely fűtési energiaigényének összehasonlítására (Bründl and Höppe, 1984).

Jelen esetben a város kül- és belterületét reprezentáló 1. és 2. állomásnak az 1978-80-as három éves időszakra vonatkozó havi átlagos fűtési napjait, fűtési fokszámaikat dolgoztam fel és hasonlítottam össze egymással. Az így kiszámított havi átlagértékeket az 5.11. táblázat tartalmazza. A szemléletesség és a könnyebb elemezhetőség kedvéért érdemes a havonkénti fűtési napok számát és a fűtési fokszámozkat grafikusan is ábrázolni (5.22. és 5.23. ábrák).

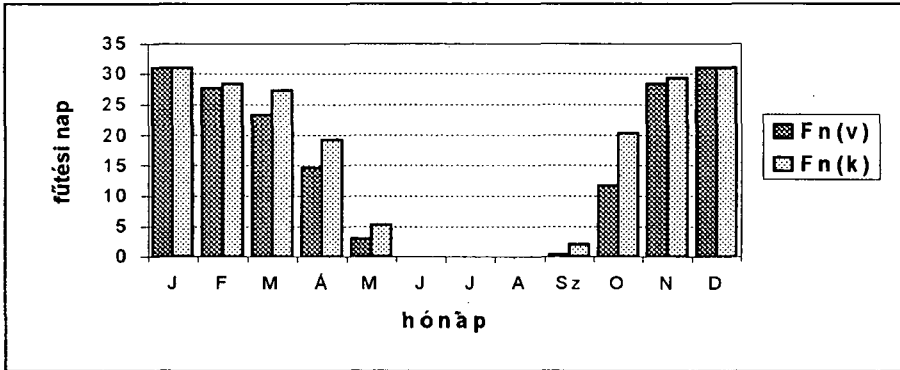
5.11. táblázat A fűtési napok számának, a fűtési fokszámozoknak ($^\circ\text{C}$) és arányuknak a havonkénti átlaga a városban (v) és a külterületen (k) (1978-80)

hónap	város		külterület		arány
	$F_n(v)$	$F_f(v)$	$F_n(k)$	$F_f(k)$	$F_f(k)/F_f(v)$
J	31,0	622,9	31,0	675,4	1,08
F	27,6	470,6	28,3	525,5	1,12
M	23,3	294,4	27,3	373,9	1,27
A	14,6	163,8	19,3	229,0	1,40
M	3,0	29,1	5,3	51,3	1,76
Sz	0,3	3,7	2,0	17,8	4,74
O	11,6	126,0	20,3	233,5	1,85
N	28,3	416,8	29,3	470,5	1,13
D	31,0	501,3	31,0	553,0	1,10
ÉV	170,7	2628,6	193,8	3129,9	1,19

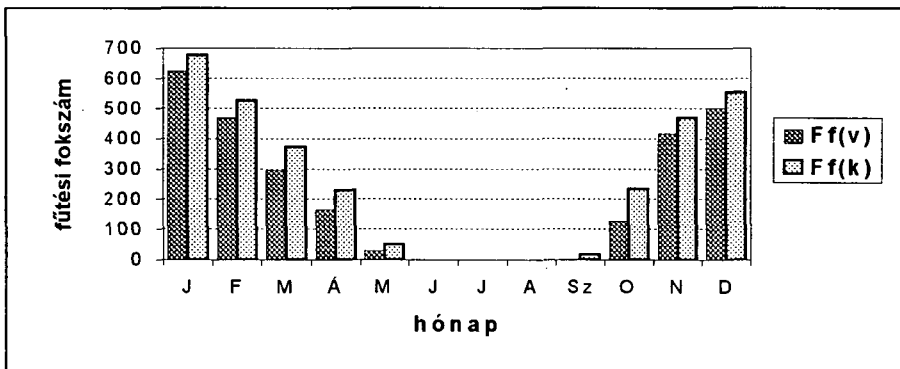
Az 5.22. ábrából látható, hogy az elméleti fűtési idény (ha az elenyésző nagyságú szeptemberi értékektől eltekintünk) októberben kezdődik meg és a következő év májusáig tart. A fűtési napok száma a külterületen a két leghidegebb téli hónap (december és január) kivételével mindig meghaladja a belvárosi értékeket, a havi átlagos különbség a 0,7 naptól (február) a 8,7 napig (!) (október) terjed. Összességében a belvárosban éves átlagban több mint 3 héttel (23,1 nap) rövidebb fűtési időnnel lehet számolni, mint a külterületen. Ehhez azonban hozzá kell tenni - az eredmények tisztán látása érdekében -, hogy a különböző (fűtési napként értékelt) napokon a szükséges energiamennyiség igencsak eltérő lehet, hiszen egyáltalán nem mindegy, hogy az adott nap középhőmérséklete mennyivel van a 12°C alatt.

Ezt a problémát oldja fel az ennél pontosabb mutató, a fűtési fokszám, amely a különböző energiaigények összehasonlítására szolgál. Az ezzel kapcsolatos 5.23. ábrán - a külterület és a belváros havonkénti fűtési fokszámaival - világosan látszik, hogy a jelentő-

sebb fűtési igénnyel rendelkező időszak októbertől áprilisig tart (nyilván egybeesve a hőszolgáltató vállalatok és az egyénileg fűtők napi gyakorlatával), kimagasló januári értékekkel. A legjelentősebb különbség a belváros javára érdekes módon októberben ($>100^{\circ}\text{C}$!) jelentkezik, a második legnagyobb március-áprilisban ($65-80^{\circ}\text{C}$), míg a lehidegebb (téli) hónapokban a különbség csak $50-55^{\circ}\text{C}$ körüli. Tehát megállapítható, hogy a város hatása az átmeneti évszakokban hangsúlyosabban csökkentő hatású a fűtési - és így a fűtőanyag - igényre.



5.22. ábra A fűtési napok számának havi átlagai a városban és a külterületen (1978-80)



5.23. ábra A fűtési fokszámok havi átlagai a városban és a külterületen (1978-80)

Ezt a tényt tükrözik a városi és külterületi fokszámok havonkénti arányszámai ($F_f(k)/F_f(v)$) is (5.11. táblázat). Ismét eltekintve a marginális szeptemberi értéktől, a legnagyobb arányszám októberben mutatható ki (1,85), vagyis a külterületen ekkor csaknem kétszer akkora energiamennyiségre van szükség a belső légterek felfűtésére, mint a belvárosban. A többi - átmeneti - tavaszi hónapban is elég magas ez az arány, de nagysága májustól márciusig visszafelé haladva az időben csökkenést mutat. Novemberben és a három téli hónapban az arányszám 1,1 körül van, tehát a fő fűtési szezonban egy városi épület - a város melegítő hatása következtében - átlagosan mintegy 10%-kal kevesebb fűtőanyagot igényel, mint egy ugyanolyan épület a külterületen. Az egész fűtési idény viszonylatában összességében az eltérés már 19%, ami egy Szeged nagyságú város esetében igencsak jelentős energia

- és költség - megtakarítást eredményezhet. Ez az eredmény jó összhangban van a Budapestre az 1901-50 közötti évekre számolt kb. 12%-os (*Probáld, 1974*) és a lényegesen nagyobb Tokióra érvényes kb. 20%-os értékkel, amely az 1964-78-as időszakra vonatkozik (*Kawamura, 1985*).

Az eredmények alapján összefoglalásképpen megállapítható, hogy a városi hősziget kifejlődésének hatására a belvárosban a külterületekhez képest

(i) a fűtési időny bő 3 héttel (23,1 nap) megrövidül,

(ii) a fűtési foksám (és az energiaigény)

- az átmeneti évszakokban lényegesen lecsökken,

- a fő fűtési időszakban csak kb. 10%-kal kisebb,

- a teljes fűtési időnyben azonban összességében 19%-kal mérséklődik.

5.6. A párányomás városi többletének napi és évi járása

A városi hősziget kifejlődéséről, tulajdonságairól nagyon sok város esetében folytak vizsgálatok, ezért ismereteink meglehetősen alaposak ebben a témában. Jóval kevesebb azonban azoknak a munkáknak a száma, amelyek a városnak a légköri nedvességre történő hatását elemzik.

A Földön lévő vízmennyiségnek csak elenyészően kis része található meg a légkörben (kb. 0,001%), ennek ellenére a légköri víznek igen fontos szerepe van a meteorológiai folyamatokban. Egyrészt energiát szállít egyik helyről a másikra, másrészt a felszín be- és kisugárzását befolyásolja. Nem elhanyagolható a szerepe az ember fiziológiai komfortérzetének meghatározásában sem.

A város és környéke légnedvességi viszonyainak összehasonlításakor eddig főleg a relatív nedvesség változásaira koncentráltak. A relatív nedvesség értékeinek vizsgálata leginkább a humánkomforttal kapcsolatban lehetnek hasznosak, de nincsen akkora jelentőségük az éghajlati folyamatok vizsgálatánál, mivel a levegő relatív nedvességtartalma nagymértékben a hőmérséklettel összhangban változik. Az olyan vizsgálatoknál azonban, mint például a sugárzási fluxus változásai, vagy a légnedvesség szerepe a szennyező részecskék közötti reakciókban, szükség van a levegő abszolút nedvességében mutatkozó különbségek tanulmányozására. Ezért jelen vizsgálat a városi és városkörnyéki légtér párányomásának jellemzőire, a különbségek okainak feltárására irányul.

A korábbi, hasonló célkitűzésű munkákat a vizsgált város földrajzi helyzete (közepes - alacsony szélesség) és a felhasznált adatsorozat hossza (napok, hónapok - évek) szerint lehet csoportosítani. Néhány példa a kapott eredményekkel:

Közepes szélességeken fekvő települések

(a) Rövid adatsorok - Leicesterben (Anglia) és Chapel Hillben (Észak-Karolina) autóval végrehajtott mérőutakon észleltek (*Chandler, 1967; Kopec, 1973*). A városok légtere éjszaka nedvesebbnek, nappal szárazabbnak bizonyult környezetüknél.

(b) Hosszú adatsorok - Edmontonban (Kanada) és Londonban (Anglia) a városi párányomás értékei a külterületekhez képest nappal alacsonyabbnak, éjszaka magasabbnak mutatkoztak a nyári évszakban, míg télen a városi értékek egész nap magasabbak voltak (*Hage, 1975; Lee, 1991*). Chicagóban (Illinois) a város és a külterület közötti párányomás különbsége pozitív volt éjszaka, negatív délelőtt és a nyári délutánokon (*Ackerman, 1987*).

Alacsony szélességeken fekvő települések

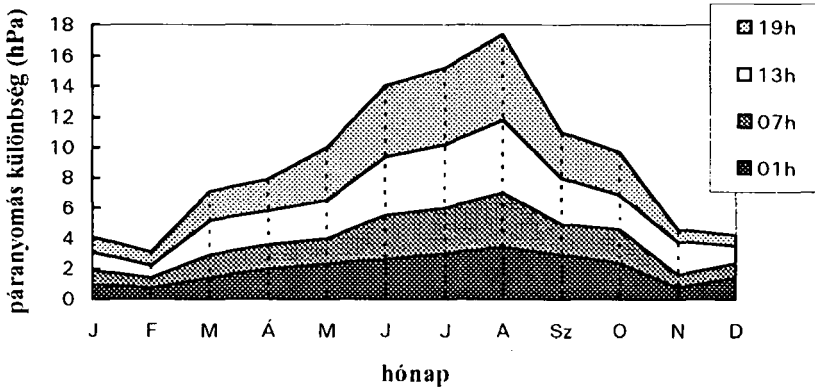
(a) Hosszú adatsorok - Ibadanban (Nigéria) a városi légtér abszolút nedvessége a nedves évszakban nagyobb, a száraz évszakban kisebb volt, mint a környékén (*Adebayo, 1991*). Mexi-

kóvárosban a specifikus nedvesség magasabb volt a városban, mint a környéken a nedves évszakban az éjszaka folyamán. Délutánonként ennek az ellenkezője állt fenn. A száraz évszakban a különbségek kisebbek vagy elhanyagolhatóak (Jáuregui and Tejada, 1997).

A vizsgálat során a belvárost képviselő 2. állomás és a szabad térszint képviselő 1. állomás párányomásának napi négy terminushoz tartozó adatait dolgoztam fel az 1978 és 1980 közötti időszakból. A terminusonként képzett havi párányomás átlagok különbségeinek segítségével felvázolható a városi nedvességtöbblet éves menete (5.12. táblázat).

5.12. táblázat A városi párányomás-többlet havi közepei észlelési időpontonként (1978-80) (hPa)

	J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D
01h	1,0	0,7	1,4	2,0	2,3	2,6	3,0	3,4	2,9	2,4	0,8	1,4
07h	0,9	0,7	1,5	1,6	1,7	2,9	3,0	3,6	2,0	2,2	0,8	1,0
13h	1,2	0,8	2,3	2,2	2,5	3,9	4,2	4,8	3,1	2,3	2,2	1,1
19h	1,0	0,9	1,9	2,1	3,5	4,6	5,0	5,6	3,0	2,8	0,8	0,7
napi átlag	1,0	0,8	1,8	2,0	2,5	3,5	3,8	4,3	2,7	2,4	1,1	1,0



5.24. ábra A párányomás városi többletének évi menete terminusonként (1978-80)

Az 5.24. ábra szemléletesen mutatja a nedvességtöbblet éves menetét és az észlelési időpontonkénti eltérő nagyságát. Világosan látható, hogy a városnak pozitív a többlete egész éven át és mind a négy észlelési időpontban a többlet január-februártól folyamatosan nő augusztusig, majd november-decemberig csökken. A maximum augusztusban van, a nap folyamán éjjel 1 órától este 7-ig növekszik (3,4-ről 5,6 hPa-ra). Ez a növekedés a napi menetben egyébként igaz a többi nyári hónapra is. A nedvességtöbblet legkisebb értékei télen, februárban és decemberben jelentkeznek (0,7 hPa).

Tehát a városi párányomás-többlet éves menete csak részben hasonló a fentiekben említett városoknál tapasztaltakhoz. Ezért a jelenség okainak feltárásához figyelembe kell venni Szegednek - a többi várostól eltérő - sajátos földrajzi adottságait és ezek lehetséges következményeit is.

A számításba jöhető paraméterek, amelyeknek havi közepeit az 5.13. táblázat tartalmazza, a következők: a maximális hősziget-intenzitás (éjjel 1 órákor), a Tisza folyó víz-hőmérséklete, az ariditási index (lásd 4.2. fejezet), az energiamérleg, a hőmérséklet és a csapadék a szegedi meteorológiai főállomáson (1. állomás) (Dobosi, 1973; Péczely, 1984).

5.13. táblázat A maximális hősziget-intenzitás, a Tisza folyó vízhőmérséklete, az ariditási index, az energiamérleg, a léghőmérséklet és a csapadék havi közepai Szegeden

	$maxT_{u-r}$ (°C)	vízhőmérséklet (°C)	H arid. index	E_s (MJm ⁻²)	léghőmérséklet (°C)	csapadék (mm)
J	1,3	0,6	0,1	7,8	-1,2	32
F	1,6	1,8	0,2	14,0	0,6	34
M	2,9	5,1	0,9	88,1	6,3	38
A	3,5	10,4	1,5	178,1	11,4	49
M	3,6	15,2	1,8	278,6	16,8	61
J	3,7	21,4	1,9	322,9	20,0	68
J	4,0	20,9	2,3	292,8	22,3	51
A	4,5	22,1	2,0	242,3	21,4	48
Sz	4,8	18,4	1,2	142,9	17,5	47
O	3,8	13,8	0,5	68,7	11,9	52
N	1,9	7,0	-0,1	-11,3	5,9	52
D	1,6	3,1	-0,2	-16,8	1,4	41

A párányomás napi átlagos városi többlete, az éjjel 1h-kor mért hőszigetintenzitás, az ariditási index és a vízhőmérséklet értékeit egy ábrába összefoglalva (5.25. ábra) lehetőség nyílik a lehetséges kapcsolatok feltárására és így a tapasztalt jelenség magyarázatára.

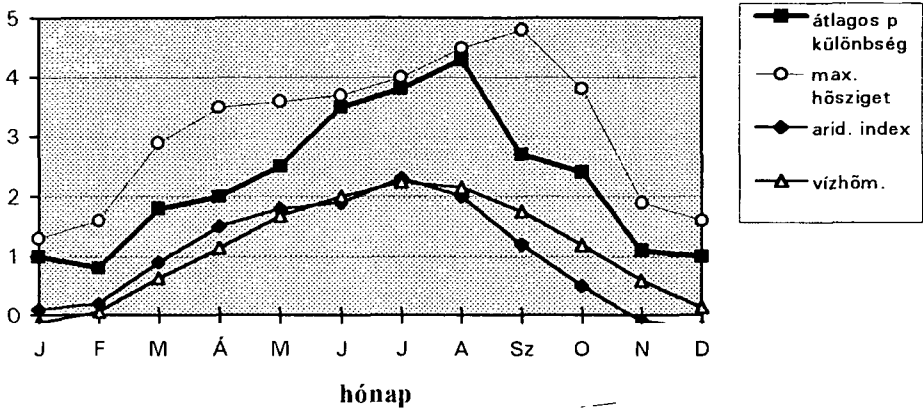
(1) Szeged térségében (a természetes környezetet képviselő 1. állomás adatai alapján) az ariditási index éves menete azt mutatja, hogy a levegő "nedvesség-éhsége" júliusig (2.3) folyamatosan nő az év folyamán. Még augusztusban is igen magas, mivel az eléggé egyenletes eloszlású csapadék jóval kevesebb, mint amit az elpárologtatásra rendelkezésre álló hőenergia felhasználhatna.

(2) A belváros esetében a folyó párologó felszíne is szolgáltat nedvességet (a 2. állomás 0,6 km-re fekszik a folyótól, míg az 1. állomás onnan 5 km-re található). A vízhőmérséklet és a levegő telítettségi hiányból eredő "nedvesség-éhsége" a nyári hónapokban (június-augusztus) a legnagyobb, így a meleg vízfelszín ebben az időszakban képes a legtöbb nedvességet bocsátani környezete, így a belváros légterébe is. Ezek a hónapok jó egyezést mutatnak a párányomás városi többlete maximumának idejével.

(3) A nyár végére a természetes felszín evapotranspirációja nagyon lecsökken, mivel addigra a mezőgazdasági termények nagy részét betakarítják és a maradék növényzet is csaknem teljesen kiszárad. Ezzel szemben a városi parkokban és kertekben ekkor a legnagyobb mértékű az öntözés, ami biztosítja az ottani növények életét, fejlődését és így a normális szintű evapotranspirációt is. Ez a tény szintén hozzájárulhat a városi nedvességtöbblet nyár végi (augusztus) maximumához, és kompenzálhatja az ariditási index és a vízhőmérséklet menetében ekkor mutatkozó enyhe visszaesést.

Vagyis - évszakos viszonylatban - mind nagyobb az ariditási index (amely ebben az esetben főleg a hőmérséklettől függ) és mind magasabb a tiszai vízhőmérséklet (a víz hőkapacitása miatt egy kis időbeli csúszással) hozzájárul a város és környéke közötti nagyobb párányomás-különbség kialakulásához. Ezek együttes hatását a felszínek párologtató képességében lévő különbségek még csak felerősítik.

A városi nedvességtöbblet egész évi pozitív voltára további - talán kevésbé fontos - tényezők is szolgálhatnak magyarázatul:



5.25. ábra A napi átlagos párányomás-többlet (hPa), a maximális hősziget-intenzitás (°C), az ariditási index, a Tisza vízhőmérséklete (10°C) éves menete Szegeden

(4) A fentebb említett ariditási index a régió természetes klímáját jellemzi. Azonban a városi levegő melegebb volta (városi hősziget) miatt annak "nedvesség-éhsége" is nagyobb. A megnövekedett városi hőmérsékletnek megfelelő mérőszáma a maximális hősziget-intenzitás, amelynek évi menetében - az előző mutatókhoz hasonlóan - szintén megfigyelhető egy késő nyári (szeptember) maximum. Ezért a magasabb városi hőmérséklet megerősíti az evapotranspiráció szerepét (3) a városi nedvességtöbblet kialakulásában, különösen a nyári hónapokban.

(5) Az égési folyamatok következtében felszabaduló jelentős mennyiségű víz szintén hozzájárulhat a város és vidéke közötti nedvességkülönbség létrejöttéhez. A belvárosi (2. állomás környéke). viszonylag szűk utcákban gyengébb a légmozgás, ezért itt a gázfűtés, főzés és közlekedés révén a légtérbe jutó víz jobban megreked, mint az erősebben átszellőzött külterületeken.

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a Szegeden tapasztalt - nyári maximummal rendelkező - egész évi pozitív városi párányomástöbbletet a következőkkel lehet megmagyarázni:

- (i) a térség klimatológiai jellegzetességeivel (ariditási index),
- (ii) a rendelkezésre álló párologtató felszínek meglétével ill. hiányával (Tisza, öntözött parkok és kertek),
- (iii) a megemelkedett városi hőmérséklettel,
- (iv) valamint a városi eredetű égési folyamatok (fűtés, főzés, közlekedés) hatásaival.

5.7. A város hatása a humán komfortérzetre

Levegőkörnyezetünk fizikai állapota több olyan paraméterrel is jellemezhető, amelyek meghatározzák az élőlények - elsősorban az ember - komfortérzetét. Ezek a hőmérsékleti, légnedvességi, a légáramlási és a sugárzási viszonyok. Az elmúlt évek során számos olyan mérőszámot (indexet) fejlesztettek ki, amelyeknek a nagysága többé-kevésbé visszatükrözi ezt a komfortérzést. Néhány ilyen index csak egy-két paramétert tartalmaz, míg má-

sok hármat vagy négyet is (Clarke and Bach, 1971). Jelen esetben olyan mérőszámokat kellett választani, amelyek a rendelkezésre álló adatbázishoz alkalmazhatók, és általuk kimutatható Szeged város bioklimatikus hatása az ember komfortérzetére a külterületekhez viszonyítva.

A vizsgálat során alkalmazott módszerek a bioklimatikus indexek értékeinek összehasonlítására a hőmérséklet, a relatív nedvesség és a párányomás 1978-80 közötti havi közepeit, valamint a hőmérséklet napi értékeit használják fel a külterületi 1. és a belvárost reprezentáló 2. állomás esetében. Az indexek különbségei kifejezik a város hatását az ember komfortérzetére, megmutatják a megváltozott fizikai környezet előnyeit és hátrányait.

Egy fontos termikus mérőszám az ún. *effektív hőmérséklet*, amely "annak a telített és nyugalomban lévő levegőnek a hőmérséklete, amely ugyanolyan hőérzethez vezet, és ezért az alkalmazkodás ugyanolyan nehézségeinek teszi ki a szervezetet, mint az adott pillanatban létező levegőkörnyezet" (Kyle, 1994). Az effektív hőmérséklet kiszámításakor a nedves és száraz hőmérőkön leolvasott értékeket kell figyelembe venni, és csak olyan helyekre alkalmazható, amelyek árnyékoltak, és védettek a légáramlástól. Az effektív hőmérséklet egyik legjobb megközelítése a Thom (1959) által kifejlesztett index. Ez a hagyományos index - amely a szokásos szinoptikus paramétereket használja - számos mindennapi gyakorlati alkalmazáshoz megfelelő, amelyet több későbbi munka is alátámaszt (pl. Clarke and Bach, 1971; Auclimens, 1997). A Thom-féle termohigrometrikus index (*thermohygrometric index* - *THI*) az egyidejű nedves (t_n) és száraz (t_{sz}) hőmérsékleti értékek összegét figyelembe véve számol. Eredeti formája a következő volt:

$$THI = 0,4(t_{sz} + t_n) + 15 \quad (^\circ F).$$

Thom (1959) vizsgálatai szerint a 70°F (21,1°C) alatti indexérték esetén lényegében nem tapasztalható a kényelmetlenség érzése, de az érték 70°F fölé emelkedésével az egyének egyre nagyobb hányadánál lépett fel a diszkomfort. 75°F-os (23,9°C) indexérték esetén a tesztelt emberek ötven százaléká érezte kényelmetlenül magát, míg a legtöbb egyénénél 80°F-nál (26,7°C) fellépett a diszkomfort valamilyen foka. Természetesen egészen eltérő feltételek is vezethetnek ugyanolyan fokú kényelmetlenség érzéséhez. Például a Las Vegas-i 107°F száraz és a 69°F nedves hőmérsékletéhez (13% relatív nedvesség) tartozó indexérték ugyanakkora, mint az Indianapolis-i 93°F száraz és 80°F nedves hőmérsékletéhez (57% relatív nedvesség) tartozó érték.

Relatív nedvességet (*RH*) és a (száraz) léghőmérséklet (*t*) esetében Celsius fokot használva az előző képlet a következőképpen alakul:

$$THI = t - (0,55 - 0,0055RH)(t - 58) \quad (^\circ C).$$

A termohigrometrikus indexet eredetileg csak a hőterhelés következtében fellépő diszkomfort érzés mértékének kifejezésére használták, ezért Besancenot (1978) a meteorológiai feltételek szélesebb (hidegebb) skálájára is kiterjesztette alkalmazhatóságát (5.14. táblázat).

Besancenot (1978) kísérletei alapján azt a következtetést vonta le, hogy az optimum a 15 és 20°C-os *THI* értékek között van és ez adja a bázisát az osztályozás szerinti "komfortos" típusnak. 15°C-os indexérték alatt a bőr felületéről történő állandó párolgás - amely az izzadás hiányában is létezik - hőt von el a testtől, amelynek emiatt védelemre van szüksége a lehűlés ellen. Ezért 15°C alatt több komfortérzeti típust különített el, amelyek a

fokozódó termogenetikus folyamatokat tükrözik vissza a hideg elleni küzdelemben. 20°C feletti indexérték esetén ellentétes folyamatok játszódnak le, mert ekkor az izzadást kiváltó (hűtő)rendszer válik aktívvá, hogy megakadályozza a test túlmelegedését. Minél magasabb a *THI* érték, annál kevésbé hatékony ez a folyamat. Ezért a növekvő hőterhelésnek megfelelően egy sor komfortérzeti típus van a "komfortos" típus felett.

5.14. táblázat A termohigrometrikus index (*THI*) osztályozási típusai (°C) (*Besancenot által módosítva, 1978*)

<i>hiperglaciális</i>	-40			alatt
<i>glaciális</i>	-39,9	és	-20	között
<i>extrém hideg</i>	-19,9	és	-10	között
<i>nagyon hideg*</i>	-9,9	és	-1,8	között
<i>hideg*</i>	-1,7	és	12,9	között
<i>hűvös*</i>	13	és	14,9	között
<i>komfortos*</i>	15	és	19,9	között
<i>meleg*</i>	20	és	26,4	között
<i>nagyon meleg</i>	26,5	és	29,9	között
<i>forró</i>	30			felett

(A *-gal jelölt típusok fordulnak elő Szeged térségének éghajlatában)

Az ember hőterhelésének egy másik megközelítése az ún. *relatív terhelési index* (*relative strain index - RSI*) (*Kyle, 1992*), amely az egyidejűleg mért (száraz) léghőmérsékletet (*t*) °C-ban és a párányomást (*e*) használja hPa-ban:

$$RSI = (t - 21)/(58 - e).$$

Az emberek 25%-a érzi magát kényelmetlenül 0,2-es *RSI* értéknél és már senki sem érzi magát kellemesen 0,3-es értéknél. Az öregek és betegek számára alacsonyabb *RSI* érték (0,2) jelenti azt a küszöböt, ami felett már ki vannak téve a hőstressznek.

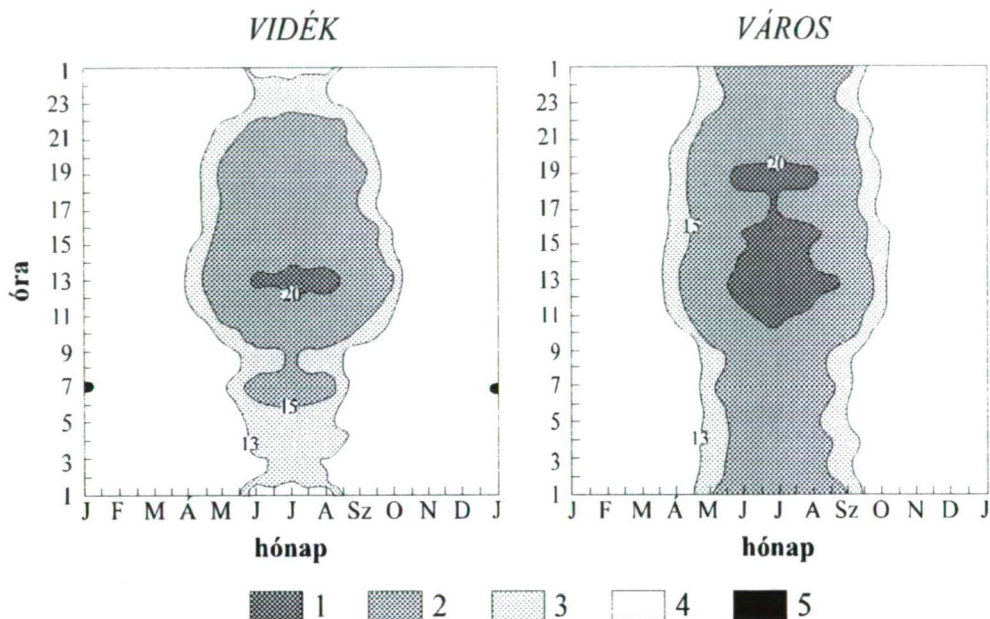
Az index osztályozási típusai fedett helyen, öltönyben lévő, 25 éves és egészséges ülő emberre vonatkoznak (5.15. táblázat).

5.15. táblázat A relatív terhelési index (*RSI*) osztályozása (*Kyle, 1992*)

<i>RSI</i>	<i>A stresszhatás nélküli ill. stresszhatás alatt álló személyek (%)</i>	<i>hatás</i>
0,1	100	stresszhatás nélkül
0,2	75	stresszhatás nélkül
0,3	0	stresszhatás nélkül
0,4	75	stresszhatás alatt
0,5	100	stresszhatás alatt

A város módosult bioklimatikus hatásának egy másik érdekes mérőszáma, amely a szabadidő kellemes eltöltésének lehetőségére vonatkozik, az ún. "sörkert napok" (*Biergartentage*) száma egy adott időszak alatt. Definíció szerint ezek olyan napok, amikor a hőmérséklet még este 9 órakor is meghaladja a 20°C-ot (*Bründl and Höppe, 1984*). Ilyen estéken

az emberek kényelmesen elüldögélhetnek kint a szabad ég alatt (pl. sörkertekben, éttermekben, cukrászdákban, szabadtéri előadásokon, stb.). Jelen vizsgálat során csak az este 7 és éjjel 1 órai méréseredmények álltak rendelkezésre, ezért a szükséges 9 órai értékek interpolációval adódtak, azon feltételezés mellett, hogy a hőmérséklet többé-kevésbé egyenletesen változott a két mérési időpont között.



5.26. ábra A városi és külterületi átlagos THI értékek (C°) izopletái (1978-80)
(Típusok: 1 - meleg, 2 - komfortos, 3 - hűvös, 4 - hideg, 5 - nagyon hideg.)

A feldolgozás során a havi közepes THI értékek kerültek meghatározásra a négy észlelési időpontban a külterületi (1.) és a belvárosi (2.) állomás esetében. A kapott értékekből megrajzolt izopletákból leolvasható és összehasonlítható a várostra, ill. környékére jellemző átlagos THI értékek napi és évi menete (5.26. ábra).

Az ábrák azt mutatják, hogy a belvárosban az egész év gyakorlatilag lefedhető négy THI típussal ("meleg", "komfortos", "hűvös" és "hideg"), míg a külterületen öt típus jelenik meg (az előbb említettek, plusz a "nagyon hideg").

Egy egész év hosszát 100%-nak tekintve, a belvárosban az időszak 6%-a esik a "meleg" THI típusba, amely a nyári hónapokban fordul elő déltől az esti órákig és maximuma meghaladja a 22°C-ot. A külterületen ez a nálunk legterhelőbb típus csaknem elhanyagolható (az időszak 1%-a), megjelenése dél körül jellemző nyáron, 21,6°C-os maximummal.

A legfontosabb "komfortos" típus a belvárosban az év majdnem egyharmadában dominál (30%), főleg májustól szeptemberig éjjel és nappal, kivéve az előbb említett nyári délutáni órákat ("meleg" típus). A külterületen a típus aránya 20%-ra csökken, és szintén májustól szeptemberig jelentkezik, de csak a nappali és esti órákban.

Nincs jelentős különbség a "hűvös" típus arányaiban (10% a városban és 12% a szabad területen). A belvárosban csak az átmeneti, április-május és szeptember-október hó-

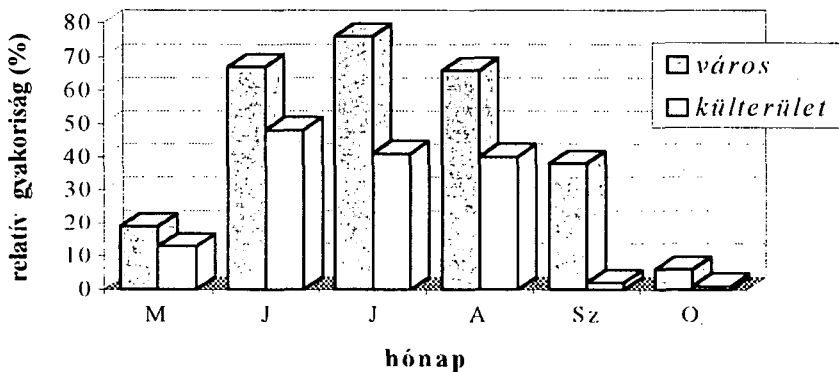
napokban mutatható ki, míg a külterületen nyáron az éjszakai és reggeli órákban is. A "hűvös" típus éven belüli viszonylag kis arányát könnyű megérteni, mert eléggé közeli értékhatárok jellemzik ezt a kategóriát.

A legerősebben domináló típus mindkét helyen a "hideg", amely az előző típussal szemben lényegesen szélesebb sávot foglal el a *THI* értékek nagyságrendjében. A belvárosban októbertől áprilisig uralkodik éjjel-nappal (54%), míg a külterületen ráadásul júniusban és augusztusban is megjelenik az éjszakai órákban (66%). Itt januárban reggel 7 óra körül a "nagyon hideg" típus is kimutatható -2.47°C -os minimummal, de jelentősége gyakorlatilag elhanyagolható (0,01%).

Tehát ennek a mérőszámnak a segítségével összességében megállapítható, hogy Szeged esetében a városi környezetnek több kedvező hatása van az ott élő emberek komfortérzetére, mint kedvezőtlen, a "komfortos" típus hosszabb, valamint a "hideg" és a "hűvös" típusok rövidebb volta miatt. Mindenesetre a külterületekhez képest hosszabb "meleg" periódus kedvezőtlen tényezőt jelent.

A havi átlagos *RSI* értékek vizsgálata a négy észlelési időpontban azt mutatja, hogy Szeged térségében nem számíthatunk - legalábbis hosszabb, több hetes időtartam átlagában - erős hőterhelésre még a nyári hónapokban sem. A belvárosban az indexértékek június, július és augusztusban, 13 órakor érik el maximumukat (0,10), míg a külterületen júliusban és augusztusban (0,07 és 0,08). Ez azt jelenti, hogy hosszabb időszak (1 hónap) átlagában senki, még az idősebbek sincsenek a meleg miatt stresszhatásnak kitéve, mert az *RSI* értékek a hőstressz korábban említett küszöbértékei alatt maradnak (0,2 az öregek, és 0,3 a fiatalok számára). Természetesen a nyári hónapokban előfordulhatnak olyan időszakok, amikor az indexértékek meghaladják a küszöbértékeket, de ezek nem tartanak sokáig.

Jelentős különbség mutatkozik viszont a "sörkerti napok" városi és külterületi száma között, méghozzá az előbbi javára. Ezeknek a napoknak az abszolút száma a vizsgált 3 év folyamán 250-nek, ill. 133-nak adódott, vagyis a városban csaknem kétszer annyi kellemes este van, mint a külterületen. A "sörkerti napok" átlagos havi relatív gyakorisága mindkét esetben azt mutatja, hogy májustól októberig fordulnak elő ilyen napok, júniusi (40% felett a külterületen) és júliusi (70% felett a városban) maximummal (5.27. ábra).



5.27. ábra A városi és külterületi "sörkerti napok" havi közepes relatív gyakorisága (1978-80)

A városon kívül szeptemberben és októberben a gyakoriság eléggé alacsony (2 és 1%). Júniustól szeptemberig a gyakoriságok különbségei mindig nagyobbak 19%-nál, a maximális különbség szeptemberben jelentkezik (36%). A külterületeken a kellemes estével rendelkező napok havonkénti száma mindig az összes napok számának fele alatt marad, míg a belvárosban a nyári hónapokban eléri a kétharmados, sőt a háromnegyedes arányt is. Az esti 9 órás hőmérsékletek ezeken a napokon többnyire a 20 és 26°C közötti sávban maradnak, csak néhány esetben emelkednek 26°C fölé.

Következésképpen Szeged város úgy módosítja a meteorológiai elemeket (léghőmérséklet és légnedvesség) a térségre jellemző általános éghajlaton belül, hogy ezek a változások túlnyomórészt kedvezőek humán bioklimatológiai szempontból. A városban tartózkodó emberek számára az egy naptári éven belüli kedvező időszak hosszabb ideig tart, mint a városon kívül tartózkodóknak.

5.8. A további kutatási irányok

A Szegeddel kapcsolatosan ismertetett eredmények természetesen a kutatások jelenlegi fázisához kapcsolódnak és nem jelentik az ezirányú vizsgálatok lezárását. A további lehetőségeket és feladatokat az alábbi területeken látom:

- A régebbi észlelési sorok felhasználásával a légnedvesség és a csapadék városon belüli területi eloszlásának feltárása, a különbözőségek okainak magyarázata.

- A belvárosban 1996-ban felállított globálsugárzás-mérő szalagjainak kiértékelése és összevetése a külterületi állomás megfelelő 1-2 éves soraival, amely ily módon Szegeden első ízben szolgáltat majd ismereteket a város feletti szennyezett légréteg sugárzásmódosító hatásáról.

- Tervbe van véve egy újabb városklíma-hálózat létesítése egy legalább 3-4 éves időtartamú méréssorozatra, amelyeknek a kiértékelése lehetőséget adna a kb. 20 évvel korábbi eredményekkel való összehasonlításra. Kérdés az, hogy a városon belül az ebben az időszakban történt szerkezeti változások okoztak-e változást a város egyébként is módosult éghajlati paramétereiben, valamint a feltételezett globális melegedésnek milyen hatása van a városi hősziget intenzitására.

- Érdekes feladat a város hősugárzó felszínéről készült termális műholdfelvételek kiértékelése, valamint annak összehasonlító vizsgálata az észlelőhálózatban mért talajközeli légtér hőmérsékleti viszonyaival, valamint az antropogén hőkibocsátás területi eloszlásával kapcsolatban.

- A város zöldterületei, potenciális ökológiai folyosói igen mostoha talajökológiai viszonyok között fejlődnek, illetve degradálódnak. Nagyon fontos ezeken a területeken a sajátos állományklíma ismerete, hogy az ökológiai viszonyok természeteshoz közeli állapotának visszaállítására a tervezés számára javaslatokat tehessünk.

Irodalom

- Ackerman, B., 1985: Temporal march of the Chicago heat island. *J. Clim. Appl. Met.* 24, 547-554.
- Ackerman, B., 1987: Climatology of Chicago area urban-rural differences in humidity. *J. Cl. Appl. Met.* 26, 427-430.
- Adebayo, Y.R., 1991: Day-time effects of urbanization on relative humidity and vapour pressure in a tropical city. *Theor. Appl. Climatology* 43, 17-30.
- Auclimens, A., 1997: Comfort, clothing and health. In *Applied climatology* (Eds. Thompson, R.D. and Perry, A.), Routledge, London and New York, 155-174.
- Bacsó N., 1958: *Budapest és környékének éghajlata. Budapest természeti képe.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 353-418.
- Baranka, Gy., 1996: Statistical analysis of the pollutant levels in Budapest. *Időjárás* 100, 1-3, 183-192.
- Barry, R.G. and Chorley, R.J., 1982: *Atmosphere, weather and climate.* Methuen, London-New York, 302-319.
- Besancenot, J.P., 1978: *Le bioclimat humain de Rio.* In *Recherches de Climatologie en Milieu Tropical et Méditerranéen* (Eds. J.B. Suchel et al.), Cahier No. 6. du Centre de Recherches de Climatologie, Université de Dijon, Dijon.
- Bründl, W. and Höppe, P., 1984: Advantages and disadvantages of the urban heat island - An evaluation according to the hygrothermic effects. *Arch. Met. Geoph. Biocl. Ser.B.* 35, 55-66.
- Carlson et al., 1981: Satellite estimation of the surface energy balance, moisture availability and thermal inertia. *J. Appl. Met.* 20, 67-87.
- Chandler, T.J., 1967: Absolute and relative humidities in towns. *Bull. Am. Met. Soc.* 48, 394-399.
- Chandler and Fox, 1974: *3000 years of urban growth.* New York.
- Clarke, J.F. and Bach, B., 1971: Comparison of the comfort conditions in different urban and suburban microenvironments. *Int. J. Biometeorology* 15, 41-54.
- Colacino, M. and Lavagnini, A., 1982: Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analyses. *Arch. Met. Geoph. Biocl. Ser.B.* 31, 87-97.
- Dobosi, Z., 1973: *Az energiamérleg területi eloszlása Magyarországon.* ELTE Doktori értekezés, Budapest, 138 pp.
- Enyedi, Gy., 1988: *A városnövekedés szakaszai.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 116 pp.
- Fezer, F., 1995: *Das Klima der Städte.* Justus Perthes Verlag, Gotha, 199 pp.
- Frisnyák, S. et al., 1978: *Magyarország földrajza.* Tankönyvkiadó, Budapest, 444 pp.
- Gyarmati, Z., 1981: *A szegedi városklíma néhány jellemző sajátossága.* JATE Szakdolgozat, Szeged, 49 pp.
- Hage, K.D., 1975: Urban-rural humidity differences. *J. Appl. Met.* 14, 1277-1283.
- Jantos, L., 1967: *Szeged bel- és külterületének hőmérsékleti viszonyai.* JATE Doktori értekezés, Szeged, 45 pp.
- Jáuregui, E. and Tejeda, A., 1997: Urban-rural humidity contrasts in Mexico City. *Int. J. Climatology* 17, 187-196.
- Justyák, J. és Tar, K., 1994: *Debrecen éghajlata.* KLTE, Debrecen, 156 pp.
- Kalanda et al., 1980: Suburban energy balance estimates for Vancouver, B.C. using the Bowen ratio-energy balance approach. *J. Appl. Met.* 19, 791-802.
- Károssy, Cs. és Gyarmati, Z., 1981: Városi hősziget kialakulása Szeged légterében. *JGYTKF Tud. Közl.*, 111-120.
- Kawamura, T., 1985: Urban climate from the viewpoint of atmospheric environment. *Int. J. Biometeorology* 29, 138-147.
- Keveiné Bárány, I., 1988: Talajföldrajzi vizsgálatok Szeged környékén. *Alföldi tanulmányok* 12, 25-34.
- Kopeck, R.J., 1973: Daily spatial and secular variations of atmospheric humidity in a small city. *J. Appl. Met.* 12, 639-648.
- Kratzer, P.A., 1956: *Das Stadtklima.* F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 184 pp.

- Kyle, W.J., 1992: Summer and winter patterns of human thermal stress in Hong Kong. *Proceed. 2nd Int. Conf. "East Asia and Western Pacific Meteorology and Climate"*, Hong Kong, 575-583.
- Kyle, W.J., 1994: The human bioclimate of Hong Kong. *Proceed. "Contemporary Climatology" Conf., Brno*, 345-350.
- Landsberg, H.E., 1981: City climate. In *World Survey of Climatology, General Climatology 3.*, Amsterdam-New York-Oxford, 299-344.
- Lee, D.O., 1975: Rural atmospheric stability and the intensity of London's heat island. *Weather* 30, 102-109.
- Lee, D.O., 1991: Urban-rural humidity differences in London. *Int. J. Climatology* 11, 577-582.
- Mezősi, G., 1983: Szeged geomorfológiai vázlata. *Alföldi tanulmányok* 7, 59-74.
- Mézes, F., 1995: Kultúrák - városszerkezetek. *HVG szept. 16.*, 72-73.
- Miklósi, Cs., 1981: A városi hősziget vizsgálata Budapesten. *Légtér* 26, No. 3., 21-22.
- Moreno-Garcia, M.C., 1994: Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. *Int. J. Climatology* 14, 705-710.
- Nkemdirim, L.C. and Truch, P., 1978: Variability of temperature fields in Calgary, Alberta. *Atm. Env.* 12, 809-822.
- Nkemdirim, L.C., 1994: Dimensions of topoclimatology. *Proceed. "Contemporary Climatology" Conf., Brno*, 30-37.
- Oke, T.R. and Hannel, F.G., 1970: The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. *WMO Tech. Note* 108, 113-119.
- Oke, T.R. and Fuggle, R.F., 1972: Comparison of urban/rural counter and net radiation at night. *Bound.-Layer Met.* 2, 290-308.
- Oke, T.R., 1973: City size and the urban heat island. *Atm. Env.* 7, 769-779.
- Oke, T.R., 1974: Review of urban climatology 1973-76. *WMO Tech. Note* 169, 100 pp.
- Oke, T.R. and Maxwell, G.B., 1975: Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. *Atm. Env.* 9, 191-200.
- Oke, T.R., 1976: The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere* 14, 268-277.
- Oke, T.R., 1979: Review of urban climatology 1968-73. *WMO Tech. Note* 134, 132 pp.
- Oke, T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Q. J. Roy. Met. Soc.* 108, 1-24.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Routledge, London-New York, 405 pp.
- Oke, T.R., 1988: The urban energy balance. *Progr. Phys. Geogr.* 12, 471-508.
- Oke, T.R. et al., 1992: The surface energy balance in Mexico City. *Atm. Env.* 26B, 433-444.
- Oke, T.R., 1997: Urban climates and global environmental change. In *Applied climatology* (Eds. Thompson, R.D. and Perry, A.), Routledge, London and New York, 273-287.
- Park, H-S., 1986: Features of the heat island in Seoul and its surrounding cities. *Atm. Env.* 20, 1859-1866.
- Park, H-S., 1987: Variations in the urban heat island intensity affected by geographical environments. *Environmental Research Center Papers* 11, Univ. of Tsukuba, Ibaraki, 79 pp.
- Pelle, L., 1983: Városklíma mérések Szegeden, *Légtér* 28, No. 1., 10-12.
- Peterson, J.T. and Stoffel, T.L., 1980: Analysis of urban-rural solar radiation data from St. Louis, Missouri. *J. Appl. Met.* 19, 275-283.
- Péczely, Gy., 1979: *Éghajlattan*. Tankönyvkiadó, Budapest, 336 pp.
- Péczely, Gy., 1983: Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881-1983). *OMSZ Kisebb Kiadványai* 53, 116 pp.
- Péczely, Gy., 1984: *A Föld éghajlata*. Tankönyvkiadó, Budapest, 598 pp.
- Probáld, F., 1971: The energy balance as the basis of the urban climate of Budapest. *Ann. Univ. Sci. ELTE, Sect. Geogr.*, Budapest, 51-68.
- Probáld, F., 1974: *Budapest városklimája*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 127 pp.
- Probáld, F., 1975: A városklimatológia időszerű feladatai. *Időjárás* 79, 69-76.
- Probáld, F., 1976: The role of green areas in planning the atmospheric environment of cities. *Ann. Univ. Sci. ELTE, Sect. Geogr.*, Budapest, 141-159.

- Probáld, F., 1981: A városi levegőkörnyezet humánkomfortjának tervezése. In *A levegőkörnyezet tervezése* (szerk. Szepesi, D.), Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 155-197.
- Réthly A., 1947: *Budapest éghajlata*. Rheuma- és Fürdőkutató Intézet, Budapest, 147 pp.
- Roncz B., 1984: Városklíma mérések Egerben. *Légekör* 30, No. 3., 31-33.
- Roodenburg, J., 1983: Adaptation of rural minimum temperature forecasts to an urban environment. *Arch. Met. Geoph. Biocl. Ser.B.* 32, 395-401.
- Rouse, W.R. et al., 1973: Radiation, temperature and atmospheric emissivities in a polluted urban atmosphere at Hamilton, Ontario. *J. Appl. Met.* 12, 798-807.
- Sándor, V. és Baranka, Gy., 1993: Nagyvárosi légszennyezettség - Budapesti helyzetkép. *Légekör* 38, No. 4., 6-10.
- Schneider, W., 1973: *Városok Urtól Utópiáig*. Gondolat, Budapest.
- Sindely, P., 1978: *A hőmérséklet és légnedvesség különbségek alakulása Szeged város és környezete között*. JATE Doktori értekezés, Szeged, 49 pp.
- Soulé, P.T. and Suckling, P.W., 1995: Variations in heating and cooling degree-days in the South-Eastern USA, 1960-1989. *Int. J. Climatology* 15, 355-367.
- Sundborg, A., 1950: Local climatological studies of the temperature conditions in an urban area. *Tellus* 2, 222-232.
- Thom, E.C., 1959: The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60.
- Unger, J., 1992a: The seasonal system of urban temperature surplus in Szeged, Hungary. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 24-26, 49-57.
- Unger, J., 1992b: Diurnal and annual variation of the urban temperature surplus in Szeged, Hungary. *Időjárás* 96, 235-244.
- Unger, J., 1993a: Egy sajátos mezoklíma: a városklíma. *A földrajz tanítása* 1, No. 5., 7-12.
- Unger, J., 1993b: The urban influence on the diurnal and annual patterns of absolute humidity in Szeged, Hungary. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 27, 33-39.
- Unger, J. and Csáki, A., 1994: Temperature characteristics of an urban local climate. *Proceedings of 'Contemporary Climatology' Conference, Brno*, 550-557.
- Unger, J., 1995a: Urban climate research in Szeged, Hungary. *Climate Digest* 5, No. 1-2., 7-9.
- Unger, J., 1995b: Some aspects of the human bioclimate of Szeged, Hungary and its surroundings. *Proceedings of 'Climatology and Air Pollution' Conference, Mendoza*, 41-50.
- Unger, J., 1995c: Szeged városklímájának bioklimatológiai értékelése. *Légekör* 40, No. 3., 29-33.
- Unger, J. and Ondok, J., 1995: Some features of urban influence on temperature extremities. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 28-29, 63-76.
- Unger, J., 1996a: The main results of the nearly 30-year-old urban climatological research in Szeged, Hungary. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 30, 99-112.
- Unger, J., 1996b: Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theor. Appl. Climatology* 54, 147-151.
- Unger, J., 1996c: A városi hősziget és a szél kapcsolata Szeged példáján. *Légekör* 41, No. 4., 21-23.
- Unger, J., 1996d: Some consequences of the urban heat island in a medium-sized town. *Book of Abstracts. 'Int. Conf. Urban Climatology', Essen*, 225-227.
- Unger, J., 1997a: Urban influence on diurnal and annual air humidity patterns. *Abstracts. The AAG 93rd Annual Meeting, Fort Worth, Tx.*, 272.
- Unger, J., 1997b: A városi hősziget hatása a fűtési energiaigényre Szegeden. *Légekör* 42, No. 2., 18-19.
- Unwin, D.J., 1980: The synoptic climatology of Birmingham's urban heat island, 1965-74. *Weather* 35, 43-50.
- White, J.M. et al., 1978: The net radiation budget of the St. Louis metropolitan area. *J. Appl. Met.* 17, 593-599.
- Yagüe, C. et al., 1991: Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atm. Env.* 25B, 327-332.
- Vámos, A., 1979: *Szeged városklímájának néhány jellegzetessége*. JATE Szakdolgozat, Szeged, 39 pp.
- Woollum, C.A., 1964: Notes from a study of the microclimatology of the Washington D.C. area for the winter and spring seasons. *Weatherwise* 17, 262-271.
- Zsiga, A., 1983: A városmorfológiai típusok és a városi hőmérséklet összefüggései Szegeden. *JGYTKF Tud. Közl.*, 95-102.
- Zsiga, A., 1988: Szeged beépítettségének városklimatológiai vonatkozásai. *JGYTKF Tud. Közl.*, 79-97.